



Skripsi – ME141501

Analisa Performa dan Emisi NO_x pada Modifikasi Mesin Diesel 1 Silinder (*Naturally Aspirated*) Dengan Pemasangan *Electric Control Fan* Pada Saluran Intake

Merbiansyah Aiduna Gudra
0421154000071

Dosen Pembimbing 1
Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah, M.Eng, Ph.D
195605191986101001

Dosen Pembimbing 2
Juniarko Prananda, ST., MT.
199006052015041001

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019**

**ANALISA PERFORMA DAN EMISI NO_x PADA MODIFIKASI MESIN
DIESEL 1 SILINDER (*NATURALLY ASPIRATED*) DENGAN PEMASANGAN
ELECTRIC CONTROL FAN PADA SALURAN INTAKE**

Nama Mahasiswa : Merbiansyah Aiduna Gudra
NRP : 0421154000071
Program Studi : S1 Teknik Sistem Perkapalan
Departemen : Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas : Fakultas Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing : Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah, M.Eng, Ph.D
Juniarko Prananda, S.T., M.T.

Abstrak

Electric Control Fan merupakan teknologi yang mampu mendongkrak performa dan menurunkan emisi NO_x yang dihasilkan oleh mesin diesel. Kelebihan dari *electric control fan* juga mampu bekerja secara otomatis sehingga sangat efektif jika di pasang. Sumber energi yang digunakan sebagai penggerak *electric control fan* adalah energi listrik. Jika diterapkan pada mesin diesel berukuran kecil daya yang dibutuhkan tidak akan terlalu besar. Sehingga *electric control fan* sangat cocok pada mesin – mesin diesel berukuran kecil atau yang memiliki volume ruang bakar (cc) yang kecil. Tekanan dan kapasitas pada ruang bakar yang meningkat menghasilkan peningkatan performa yang signifikan terhadap mesin. Metode tersebut dapat menghambat pembentukan NO_x selama proses pembakaran. Penggunaan *Electric Control Fan* memiliki dampak seperti SFOC mesin menurun, performa power dan torsi meningkat. Eksperimen dilakukan dengan mesin diesel satu silinder tipe YANMAR TF85-MHDI. Hasil yang diperoleh dalam penelitian adalah emisi NO_x berkurang hingga 0,648 g/kWh atau 17% dari kondisi mesin tanpa *Electric control fan*. Hasil eksperimen performa menunjukkan penggunaan *electric control fan* mampu mengurangi SFOC sebesar 18,443 gr/kWh. Hasil power, dan torsi juga lebih baik dibandingkan dengan kondisi sebelum modifikasi. Sedangkan pengontrolan dengan sistem otomatis mengalami penurunan kapasitas sebesar 1.128% dari sistem manual.

Kata Kunci : *Electric Control Fan, Emisi NO_x, Mesin Diesel, Manual dan Automatic, Naturally Aspirated, Performansi* .

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

**ANALYSIS OF PERFORMANCE AND NO_x EMISSION OF
MODIFICATION DIESEL ENGINE 1 CYLINDER (NATURALLY
ASPIRATED) WITH INSTALLATION OF ELECTRIC CONTROL FAN IN
INTAKE**

Nama Mahasiswa : Merbiansyah Aiduna Gudra
NRP : 0421154000071
Program Studi : S1 Teknik Sistem Perkapalan
Departemen : Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas : Fakultas Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing : Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah, M.Eng, Ph.D
Juniarko Prananda, S.T., M.T.

Abstract

Electric Control Fan is a technology that can boost performance and reduce NO_x emissions produced by diesel engines. The advantages of the electric control fan are also able to work automatically so it is very effective when installed. The energy source used as an electric fan control driver is electrical energy. If applied to a small diesel engine the power needed will not be too large. So the electric control fan is perfect for small diesel engines or small volumes of combustion chamber (cc). The increased pressure and capacity in the combustion chamber results in significant performance improvements to the engine. This method can inhibit NO_x formation during the combustion process. The use of Electric Control Fan has an impact as the SFOC engine decreases, the power and torque performance increases. The experiment was carried out with a YANMAR TF85-MHDI one-cylinder diesel engine. The results obtained in the study were NO_x emissions reduced to 0.648 g / kWh or 17% of engine conditions without Electric control fan. The experimental results show that the use of an electric control fan can reduce SFOC by 18,443 gr / kWh. The results of power, and torque are also better than the conditions before modification. While controlling with an automated system has decreased capacity by 1,128% from the manual system.

Keywords : *Electric Control Fan, Emisi NO_x, Mesin Diesel, Manual dan Automatic, Naturally Aspirated, Performansi.*

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Segala puji kehadiran Allah SWT atas segala rahmat, karunia dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul “ANALISA PERFORMA DAN EMISI NO_x PADA MODIFIKASI MESIN DIESEL 1 SILINDER (*NATURALLY ASPIRATED*) DENGAN PEMASANGAN *ELECTRIC CONTROL FAN* PADA SALURAN INTAKE.”.

Dalam proses penyelesaian Skripsi ini, penulis telah mendapat banyak dukungan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Kedua orang tua penulis, Bapak Saidun dan Ibu Suliyah yang sudah memberikan dukungan penuh kepada penulis dalam bentuk semangat, moral, materi dan hal lainnya sehingga dapat menyelesaikan Skripsi dengan lancar.
2. Bapak Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah, M.Eng, Ph.D. selaku Dosen Pembimbing 1 yang telah membimbing penulis dan memotivasi untuk selesainya Skripsi.
3. Bapak Juniarko Prananda, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing 2 yang telah membimbing penulis dan memotivasi untuk selesainya Skripsi.
4. Bapak Prof. Dr. I Ketut Buda Artana, ST., M.Sc. selaku dosen wali penulis yang sudah membimbing selama proses kuliah di Departemen Teknik Sistem Perkapalan dari awal hingga akhir.
5. Bapak dan Ibu dosen Departemen Teknik Sistem Perkapalan yang telah memberikan ilmu bermanfaat dan membagi pengalaman.
6. Teman saya, Kisserah, Amal, Atfal, Rohiim, Ardi, Anas, Youi, Faroq, Irwan, Luqman yang selalu menemani saat susah dan senang.
7. Teman-teman sesama member Lab. Marine Power Plant yang bersama-sama mengerjakan Skripsi dengan suka dukanya.
8. Teman satu angkatan SALVAGE'15 yang sudah memberikan dukungan dan semangat tiada hentinya.

Semoga skripsi ini dapat berguna dan dapat memberi ilmu pengetahuan yang bermanfaat bagi penulis dan pembaca. Amiin.

Surabaya, Juli 2019

Merbiansyah Aiduna Gudra

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

Abstrak	i
Abstract	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR PUSTAKA	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR PERSAMAAN	xv
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah.....	2
1.3. Batasan Masalah.....	2
1.4. Tujuan Penelitian.....	2
1.5. Manfaat.....	2
BAB II	3
DASAR TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1. Peta Jalan Penelitian (<i>State Of the Art</i>)	3
2.2. Mesin Diesel.....	4
2.2.1. Proses pembakaran	4
2.3. Performa mesin diesel	4
2.3.1. Torsi dan Daya	5
2.3.2. SFOC (<i>Specific Fuel Consumption</i>).....	6
2.4. Emisi.....	6
2.5. <i>Air Induction System</i> Mesin diesel	6
2.5.1. <i>Naturally Aspirated</i>	6
2.5.2. Force Induction.....	6
2.6. Electric Control Fan	8
2.6.1. Arduino Uno.....	8
2.6.2. Mikrokontroler AVR ATmega 8535	8

2.6.3.	Liquid Crystal Display(LCD).....	9
2.6.4.	Sensor RPM (<i>Optocoupler</i>).....	9
BAB III		11
METODELOGI PENELITIAN		11
3.1.	Identifikasi dan Perumusan Masalah.....	12
3.2.	Studi Literatur.....	12
3.3.	Desain dan Manufaktur Sistem Electric Fan.....	12
3.4.	Uji Eksperimen.....	18
3.5.	Pengumpulan Data	19
3.5.1.	Laju udara Fluida.....	19
3.6.	Sistem Otomatis	19
	Penyusunan alat.....	27
3.7.	Analisa Pembahasan.....	32
3.8.	Kesimpulan dan Saran.....	32
BAB IV		33
HASIL DAN PEMBAHASAN		33
4.1.	Performa Mesin Diesel Menggunakan Electric Fan pada Saluran Intake. 33	
4.2.	Hasil Uji Emisi Menggunakan Electric Fan pada Saluran Intake.	38
4.3.	Sistem Kontrol Arduino Uno	40
BAB V		43
KESIMPULAN DAN SARAN		43
5.1.	Kesimpulan.....	43
5.2.	Saran.....	43
LAMPIRAN		47
	Lampiran I. Hasil Data Performa	47
	Lampiran II. Test Cycle point data proses pembakaran dan nilai No _x	52
	Lampiran III. Hasil Emisi NO _x Dan Konversi.....	53
	Lampiran IV. Hasil Data NO _x Dari Exhaust Gas Analyzer.....	55
	Lampiran V. Effisiensi Volumetrik.....	61

Lampiran VI. Kalibrasi Kapasitas Udara sistem Manual dan Otomatis Electric Control Fan.....	65
Lampiran VII. Program Arduino.....	67
BIODATA PENULIS	72

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISA PERFORMA DAN EMISI NO_x PADA MODIFIKASI MESIN
DIESEL 1 SILINDER (*Naturally Aspirated*) DENGAN PEMASANGAN
ELECTRIC CONTROL FAN PADA SALURAN INTAKE**

Skripsi

Diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan

memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada

Bidang Studi *Marine Power Plant* (MPP) Program Studi S-1 Departemen Teknik
Sistem Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Merbiansyah Aiduna Gudra

NRP. 0421154000071

Disetujui oleh

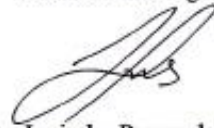
Dosen Pembimbing 1 Skripsi :



Ir. Aguk Zubdi Muhammad Fathallah, M.Eng, Ph.D
NIP: 1956 0519 1986 10 1001

Disetujui oleh

Dosen Pembimbing 2 Skripsi :



Juniarko Prananda, ST., MT.
NIP. 199006052015041001

Surabaya

Juli 2019

**STUDI ANALISIS PERFORMA DAN EMISI NOX PADA MODIFIKASI
MESIN DIESEL 1 SILINDER (*NATURALLY ASPIRATED*) DENGAN
PEMASANGAN *ELECTRIC CONTROL FAN* PADA SALURAN INTAKE**

Skripsi

Diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan
memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi *Marine Power Plant* (MPP) Program Studi S-1 Departemen
Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Oleh:

**Merbiansyah Aiduna Gudra
NRP. 04211540000071**

Disetujui oleh Ketua Departemen Teknik Sistem Perkapalan :



Dr. Eng. M. Badrus Zaman, ST, MT
NIP: 1977 0802 2008 01 1007

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Arduino Uno.....	8
Gambar 2. 2. <i>Liquid Crystal Display</i>	9
Gambar 2. 3. Pemasangan sensor (Optocoupler).	9
Gambar 2. 4. Hardware Detail IR Proximity Sensor.....	10
Gambar 3. 1. Flowchart Alur Pengerjaan.....	11
Gambar 3. 2. Sistem Electric Fan.....	12
Gambar 3. 3. Desain Intake Manifold	13
Gambar 3. 4. Sistem Electric Fan pada Intake Manifold.....	14
Gambar 3. 5 Skema Pipa Pitot dengan Manometer.....	14
Gambar 3. 6 Desain pitot Tube pada Sistem Intake Manifold	15
Gambar 3. 7. Manometer U.....	16
Gambar 3. 8. Engine Set Up Untuk Kapasitas udara menggunakan Electric fan.....	16
Gambar 3. 9. Engine Set up.....	17
Gambar 3. 10. (a) Mesin diesel Yanmar TF 85 MH. (b) <i>Generator electrical Dynamometer</i>	17
Gambar 3. 11. Diagram Proses sistem Otomatis	20
Gambar 3. 12. Modul IR-08H	20
Gambar 3. 13. Tachometer Digital	21
Gambar 3. 14. Arduino UNO	22
Gambar 3. 15. (a) ESC (<i>Electric speed control</i>), (b) Sikring, (c) <i>Electric Fan</i>	23
Gambar 3. 16. Komponen LCD (<i>Liquid Crystal Display</i>)	24
Gambar 3. 17. IIC/I2C (<i>Inter Integrated Circuit</i>).	26
Gambar 3. 18. Wiring Diagram IIC with LCD.	26
Gambar 3. 19. Sensor RPM IR-08H.....	27
Gambar 3. 20. Bagan Proses dari <i>Electric Control Fan</i>	28
Gambar 3. 21. (a) LCD, (b) Electric Control Fan	28
Gambar 3. 22. Gambar rangkaian <i>electric control fan</i>	29
Gambar 3. 23. Gambaran secara utuh sistem <i>Electric control fan</i>	29
Gambar 4. 1. Performansi SFOC dengan Power pada <i>Kondisi Naturally Aspirated</i>	33
Gambar 4. 2. Performansi SFOC dengan Power kondisi Electric Fan 0,2 Bar.	34
Gambar 4. 3. Performansi SFOC dengan Power kondisi Electric Fan 0,3 Bar.	35
Gambar 4. 4. Performansi Power vs RPM kondisi Electric Fan Off, 0,2 Bar dan 0,3 Bar Electric Fan.	36
Gambar 4. 5. Performansi Torsi vs RPM kondisi Electric Fan Off, 0,2 Bar dan 0,3 Bar Electric Fan.	37

Gambar 4. 6. Diagram batang kadar NO _x kondisi 100% RPM dan beban bervariasi	38
Gambar 4. 7. Rangkaian sistem kontrol menggunakan <i>Arduino UNO</i>	40
Gambar 4. 8. Electric Control Fan.	41

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1. Spesifikasi Mesin diesel Yanmar TF 85 MH	18
Tabel 3. 2. Datasheet Modul IR-08H	20
Tabel 3. 3. Datasheet Microcontroller Atmega328	22
Tabel 3. 4. Spesifikasi Electric Fan.....	23
Tabel 3. 5. Datasheet LCD	24
Tabel 3. 6. Pin Number LCD	25
Tabel 3. 7. Datasheet IIC.....	26
Tabel 3. 8. Sistem manual dan otomatis.....	30

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan (2. 1).....	5
Persamaan (2. 2).....	5
Persamaan (2. 3).....	6
Persamaan (3. 1).....	19
Persamaan (3. 2).....	19
Persamaan (3. 3).....	31
Persamaan (3. 4).....	31

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pada mesin diesel pembakaran bahan bakar merupakan akibat pengkompresian udara di dalam ruang tertutup disebut dengan silinder mesin. Jumlah udara yang masuk ke silinder mesin menentukan temperatur panas yang dihasilkan pada saat proses kompresi di dalam silinder. Proses pembakaran pada mesin diesel akan sangat tergantung pada panas yang terjadi akibat udara yang masuk ke dalam silinder. Udara dikompresi pada ruang tertutup karena katup intake maupun katup exhaust pada posisi tertutup.

Naturally Aspirated

Mesin diesel terbagi menjadi 2 sistem pemasukan udara (*Air Induction System*) yaitu mesin diesel dengan *Naturally Aspirated*. Pada mesin diesel konvensional udara masuk ke dalam silinder diakibatkan oleh daya hisap piston. Cara tersebut udara yang masuk ke dalam silinder tidak sepenuhnya dapat mengisi silinder mesin (hanya terisi $\pm 80\%$). Panas yang ditimbulkan tidak akan maksimal. Hisapan piston pada saat langkah intake mengakibatkan udara luar mengalir melewati *precleaner*, *air cleaner*, *intake manifold* karena terjadi kevakuman diruang bakar. Apabila terjadi hambatan pada *air cleaner* dan sistem *intake*, kerapatan udara yang dihisap sangat rendah dibanding kerapatan udara atmosfer. Karena jumlah udara terbatas maka bahan bakar yang diinjeksikan juga terbatas sehingga tenaga yang dihasilkan juga terbatas.

Hal tersebut mempengaruhi proses pembakaran. Udara yang masuk pada ruang bakar kurang memenuhi kuantitas dan kualitas bahan bakar tidak sesuai dengan kebutuhan. Kurangnya udara digunakan untuk proses pembakaran antara udara dan bahan bakar tidak bercampur secara homogen. Dampak yang ditimbulkan dari permasalahan di atas adalah kinerja dari mesin secara keseluruhan kurang optimal. Dampak yang kasat mata terhadap lingkungan adalah adanya asap hitam yang keluar dari *exhaust*. (Kristanto, 2000)

Force Induction (Electric Control Fan)

Mesin diesel modern biasanya menggunakan *air induction system*. Sistem pemasukan udara paksa, yaitu suatu teknik untuk meningkatkan pemasukan udara yg dipaksakan/dipadatkan melalui *Throttle Body*. Tekanan dan kapasitas didalam ruang bakar akan meningkat dan menghasilkan peningkatan performa yang signifikan terhadap mesin. Sistem kontrol di zaman modern ini sangatlah berkembang dengan pesat. Pemasangan *Electric control fan* diharapkan dapat memberikan penambahan kapasitas pada mesin diesel 1 silinder.

Maka pada penelitian ini akan dibuat sistem kontrol untuk menambahkan kapasitas udara pada saluran intake. *Electric control fan* digunakan untuk dicari berapa penambahan kapasitas yang paling optimum pada variasi rpm. Setelah didapat penambahan kapasitas udara yang paling optimum. Maka akan dibuat sistem control

yang nantinya secara otomatis akan menghidupkan atau mematikan komponen *electric fan* berdasarkan data yang diperoleh.

1.2. Perumusan Masalah

Penelitian ini membahas performa yang dihasilkan dari penggunaan komponen *Electric fan* yang nantinya akan dipasangkan pada *intake manifold* mesin diesel. Eksperimen tentang penggunaan *electric fan* dilakukan untuk mengetahui performa dan karakteristik pembakaran. Oleh karena itu pada penelitian ini memiliki rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana performa yang terjadi ketika menggunakan *electric fan* pada mesin diesel (*Naturally Aspirated*)?
2. Bagaimana emisi NOx yang dihasilkan ketika menggunakan *electric fan* pada mesin diesel (*Naturally Aspirated*)?
3. Bagaimana pengontrolan *electric fan* pada saluran intake manifold mesin diesel ?

1.3. Batasan Masalah

Pada penelitian yang akan dilakukan ini diperlukan batasan masalah sebagai berikut:

1. Ruang lingkup analisa Performa terdiri dari SFOC (Specific Fuel Consumption), Torsi, dan Daya.
2. Ruang lingkup analisa emisi terdiri dari NOx.
3. Variabel putaran pada mesin diesel menggunakan RPM sebesar 1800 RPM, 1900 RPM, 2000 RPM, 2100 RPM, dan 2200 RPM.
4. Analisis Performa dan pemasangan *electric control fan* dilakukan pada mesin diesel Yanmar TF85-MH yang berada di Laboratorium *Marine Power Plant FTK ITS*.

1.4. Tujuan Penelitian

Untuk menjawab semua pertanyaan yang terdapat pada perumusan masalah diatas, penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut :

1. Mengetahui performa dari mesin diesel ketika menggunakan *electric fan* pada mesin diesel (*Naturally Aspirated*).
2. Mengetahui emisi NOx dari mesin diesel ketika menggunakan *electric fan* pada mesin diesel (*Naturally Aspirated*).
3. Mengetahui sistem pengontrolan *electric fan* pada saluran intake manifold mesin diesel.

1.5. Manfaat

Pada penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai performa dan emisi NOx pada mesin diesel. Mesin diesel *Naturally aspirated* yang dimodifikasi dengan menambahkan *electric control fan* pada saluran *intake*.

BAB II

DASAR TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Peta Jalan Penelitian (*State Of the Art*)

Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan performa dan menurunkan emisi NO_x pada mesin diesel (*Naturally Aspirated*). Dengan menambahkan kapasitas udara pada saluran *intake* dan di kontrol pada kecepatan RPM tertentu. Pada penelitian sebelumnya yaitu pada jurnal “Pengaruh Suhu dan Tekanan Udara Masuk Terhadap Kinerja mesin Diesel Tipe 4 JA 1”. Penulis mengatakan, penambahan tekanan pada udara yang masuk ke ruang bakar akan membantu campuran mencapai kondisi pembakaran dengan lebih cepat. (Kristanto and Tirtoatmodjo 2000)

Dari sitasi jurnal tersebut kesimpulan mesin diesel 1 silinder *naturally aspirated* pada percampuran bahan bakar di ruang bakar masih kurang maksimal. Proses pencampuran kurang efektif dalam melakukan proses pembakaran secara sempurna, dalam artian pembakaran tidak sempurna. Pada jurnal dapat disimpulkan juga mengenai salah satu cara untuk meningkatkan performa. Meningkatkan tekanan dan kapasitas udara intake yang masuk ke ruang bakar akan membuat proses percampuran bahan bakar dengan udara menjadi sempurna. Maka keterlambatan pembakaran dapat dihindari.

Pada penelitian Mahadi (2010) yaitu “Pengaruh Penggunaan Turbocharge dengan Intercooler terhadap Perfromasi Motor Bakar Deiesel”. Pengaruh pada mesin diesel setelah dimodifikasi dengan *turbocharge* dan *intercooler* pada saluran *intake*. Pada penelitian tersebut terjadi pengaruh performa yang dihasilkan. Dalam hasil penelitian tersebut menjelaskan kekurangan dari pemakaian *turbocharge* di mesin diesel. Tidak seluruh Energi gas buang dapat digunakan untuk menggerakkan turbin. Energi yang hilang pada common large chamber membutuhkan saluran gas yang besar, dan kurang responsif pada beban.

Gou, Yang, and Guo (2015) pada jurnal “*Design on electric supercharger controller based on Brushless DC motor*”. Menjelaskan mengenai sistem kontrol untuk penambahan tekanan dengan mengatur voltase motor DC. Supercharge yang bergantung pada kecepatan engine, menguraikan desain fungsi pengontrol booster listrik, desain sirkuit berdasarkan kecepatan mesin dan beban. Pada penelitian tersebut menjelaskan sistem kerja elektronik untuk mengontrol penambahan tekanan dengan mengatur voltase motor DC brushless. Hasil output tidak diberikan pada penelitian tersebut hanya tegangan yang diberikan oleh perangkat *Core Control Unit*.

Sistem kontrol (sistem kendali) telah memegang peranan yang penting dalam perkembangan ilmu dan teknologi. Di samping sangat diperlukan pada pesawat ruang angkasa, dan sistem kemudi pesawat, sistem kontrol juga menjadi bagian yang penting dalam pabrik dan industri modern.

Sebagai contoh, sistem kontrol sangat diperlukan dalam operasi – operasi di industri untuk mengontrol tekanan, kecepatan, pengerjaan dengan mesin perkakas

dan sebagainya. Kelebihan menggunakan sistem kontrol pada sebuah mesin saat ini adalah Kecepatan operasi lebih cepat dibandingkan dengan sistem manual. Kecepatan ditentukan dengan waktu scannya dalam satuan millisecond. Ketika memprosesnya, mengolahnya, dan kemudian mengembangkannya komponen/unit yang membentuk sistem kendali akan saling mempengaruhi (berinteraksi).

Penulis berpikiran untuk membuat sistem kontrol guna untuk meningkatkan tekanan dan kapasitas dengan menggunakan *electric fan* pada saluran intake. Untuk pembakaran pada mesin diesel *naturally aspirated* lebih baik dalam proses pencampuran udara dengan bahan bakar. Dengan dibuat sistem kontrol ini penulis akan me-modifikasi saluran intake. Penambahan kapasitas dan tekanan secara otomatis berdasarkan data optimum yang diperoleh ketika menggunakan *Electric fan*.

2.2. Mesin Diesel

Mesin diesel disebut dengan *Compression Ignition Engine*. Pada mesin diesel penyalaan bahan bakar dilakukan dengan menyemprotkan bahan bakar ke dalam udara yang bertekanan dan bertemperatur tinggi, akibat dari kompresi. Beberapa hal yang mempengaruhi kerja mesin diesel. Besarnya perbandingan kompresi, tingkat homogenitas campuran bahan bakar dengan udara, dan karakteristik bahan bakar (*cetane number*). Dimana *cetane number* adalah kemampuan untuk terbakar dengan sendirinya (*auto ignition*). (Pradipta,2008)

2.2.1. Proses pembakaran

Proses pembakaran mesin diesel berbeda dengan proses pembakaran mesin bensin. Untuk memicu terjadinya pembakaran mesin bensin memerlukan *spark ignition* untuk membuat bahan bakar terbakar pada *combustion chamber*. Sedangkan mesin diesel, pada ruang bakar hanya terdapat udara yang terkompresi dengan ratio tinggi (12 : 1 sampai 22 : 1) melebihi ratio yang dimiliki mesin bensin. Pada mesin diesel langkah kompresi tekanan dan suhu meningkat sangat tinggi. (Pradipta,2008)

Pada kondisi udara dengan tekanan dan temperatur yang tinggi pada ruang bakar (diatas titik *ignition* dari bahan bakar). Injektor menginjeksikan bahan bakar pada fase liquid yang telah dikompresi menggunakan pompa bahan bakar. Sehingga pada salah satu titik tertentu pada uap udara yg bercampur bahan bakar akan terbakar dengan sendirinya. (Pradipta,2008).

Terjadinya proses pembakaran dan karakteristik pembakaran ditentukan oleh faktor konstruktif berikut : (Olt, 2015)

- a. Kontruksi combustion chamber dari mesin itu sendiri ;
- b. Jalan masuknya udara ke ruang bakar ;
- c. Penyemprotan injection fuel dan kuantitasnya.

2.3. Performa mesin diesel

Menurut Nariati (2016). Performa pada mesin diesel seperti daya dan torsi dipengaruhi oleh besarnya jumlah kalor dari hasil pembakaran. Nilai kalor yang dimaksud yaitu dari hasil pembakaran campuran bahan bakar dan udara kompresi. Bahan bakar yang mempunyai nilai kalor yang rendah memerlukan bahan bakar yang

lebih banyak untuk menghasilkan tenaga. Sedangkan dengan bahan bakar yang memiliki nilai kalor yang tinggi maka memerlukan lebih sedikit bahan bakar

Artinya, semakin rendah nilai kalor bahan bakar semakin tinggi tingkat konsumsi bahan bakarnya dari pada bahan bakar yang nilai kalornya lebih tinggi. Untuk mengetahui performa mesin diesel dengan bahan bakar tertentu dapat dilakukan perhitungan dengan beberapa indikator sebagai berikut :

2.3.1. Torsi dan Daya

Torsi merupakan sebuah tenaga untuk menggerakkan, menarik atau menjalankan sesuatu (pulling power). Satuan untuk torsi di internasional adalah feet/lbs, feet-pounds atau Newtonmeter (Nm).

Torsi dihasilkan dari jarak dan kekuatan untuk menghitungnya adalah perkalian antara tenaga dengan jarak. Mesin dari kendaraan menghasilkan torsi dan menggunakannya untuk menggerakkan crankshaft. Jadi, torsi adalah tenaga yang digunakan pada suatu jarak tertentu.

Torsi mesin diesel dapat dihitung berdasarkan daya yang telah dihitung dalam persamaan (2-1) dengan menggunakan rumus hubungan daya terhadap putaran dan torsi (2-2). (Willard W. Pulkrabek). Daya power yang dikirimkan oleh mesin adalah torsi dan kecepatan sudut yang dihasilkan dari sebuah mesin. Power tersebut juga sering disebut dengan power brake yang dapat dirumuskan.

$$Pb = \frac{(MEP \cdot Vd \cdot N)}{60 \cdot n \cdot R \cdot 10^{-2}} \dots\dots\dots(2. 1)$$

$$T = \frac{Pb \cdot 60 \cdot 1000}{2 \cdot \pi \cdot n} \dots\dots\dots (2. 2)$$

Dimana,

Pb : daya mesin (W)

MEP : mean effective pressure mesin diesel (576kPa)

N : putaran mesin (revolution/minutes)

Vd : displacement mesin diesel

NR : jumlah revolusi crankshaft

T : torsi mesin (Nm)

2.3.2. SFOC (*Specific Fuel Consumption*)

Konsumsi bahan bakar secara spesifik merupakan perbandingan antara bahan bakar yang dikonsumsi dalam waktu tertentu dan tenaga yang dihasilkan oleh mesin. Adapun teori dari konsumsi bahan bakar dapat menggunakan rumus sebagai berikut (Prahara, 2017):

$$\text{SFOC} = \text{mf}/\text{P} \dots\dots\dots(2. 3)$$

Keterangan :

SFOC : pemakaian bahan bakar spesifik

mf : Massa Flow Rate (gr/h)

P : daya (Kw)

2.4. Emisi

Gas buang kendaraan bermotor terdiri dari atas zat yang tidak beracun, seperti nitrogen (N₂), Karbondioksida (CO₂), dan uap air (H₂O). Zat beracun seperti karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC), oksida nitrogen (NO_x), sulfur oksida (SO_x), zat debu timbal (Pb), dan partikulat. (Hadi, 2017)

Gas nitrogen oksida (NO_x) terbagi menjadi dua macam yaitu gas nitrogen monoksida dan gas nitrogen dioksida. Kedua macam gas tersebut memiliki sifat yang sangat berbeda dan keduanya berbahaya bagi kesehatan. Udara yang mengandung gas NO dalam batas normal relative aman dan tidak berbahaya, kecuali bila gas NO berada dalam konsentrasi tinggi. (Hadi, 2017)

2.5. *Air Induction System* Mesin diesel

2.5.1. *Naturally Aspirated*

Natural aspirated merupakan sistem pemasukan udara kedalam ruang bakar secara alamiah. Hisapan piston pada saat langkah intake mengakibatkan udara luar mengalir melewati *precleaner*, *air cleaner*, *intake manifold* karena terjadi kevakuman diruang bakar.

Apabila terjadi hambatan pada *air cleaner* dan sistem *intake*, kerapatan udara yang dihisap menjadi sangat rendah dibanding kerapatan udara atmosfer. Karena jumlah udara terbatas maka bahan bakar yang diinjeksikan juga terbatas maka tenaga yang dihasilkan juga terbatas.

Hal tersebut berpengaruh pada proses pembakaran. Udara yang masuk pada ruang bakar kurang memenuhi kuantitas dan kualitas bahan bakar tidak sesuai dengan kebutuhan. Kurangnya udara untuk proses pembakaran, serta udara dan bahan bakar tidak bercampur secara homogen. Dampak yang ditimbulkan dari permasalahan di atas adalah kinerja dari mesin secara keseluruhan kurang optimal. Dampak yang kasat mata terhadap lingkungan adalah adanya asap hitam yang keluar dari saluran buang. Kristanto (2000)

2.5.2. *Force Induction*

Supercharger

Supercharger adalah Kompresor udara yang digunakan untuk menginduksi gaya mesin diesel dengan torak dengan menggunakan pompa yang menekan udara

untuk masuk kedalam mesin. Penggunaan *supercharger* dimaksudkan untuk meningkatkan tekanan udara sehingga udara dapat masuk keruang bakar. *Supercharger* juga dapat diartikan suatu mekanisme untuk mensuplai udara dengan kepadatan yang melebihi kepadatan udara atmosfer. Udara yang lebih padat ini akan tinggal dalam silinder untuk ditekan pada langkah kompresi. Udara yang memiliki destinasi yang tinggi maka lebih banyak bahan bakar yang dapat terbakar sehingga daya output mesin meningkat. (Kusnadi, 2010)

Dengan *supercharger* jumlah udara atau campuran bahan bakar- udara segar yang dimasukkan lebih besar dari pada dengan proses penghisapan oleh torak. Pada mesin diesel *supercharger* dapat mempersingkat periode persiapan pembakaran sehingga karakteristik pembakaran menjadi lebih baik.

Disamping itu terbuka kemungkinan untuk menggunakan bahan bakar dengan bilangan cetana yang lebih rendah. Hal tersebut jangan melupakan tekanan dan temperature gas pembakaran. Karena akan menyangkut persoalan pendinginan, konstruksi, dan kekuatan material serta umurnya. (Kusnadi, 2010)

Untuk mencegah terjadinya tekanan maksimum yang terlalu tinggi. Maka ada kecenderungan untuk mengurangi perbandingan kompresi sekaligus memperingan proses *start* mesin. *Supercharger* dapat memasukan udara lebih banyak, dapat diharapkan pembakaran menjadi lebih baik dan gas buangnya lebih bersih. Kini banyak mesin diesel tanpa *supercharger* dilengkapi dengan *supercharger* untuk mencapai tujuan tersebut. (Mahadi, 2007).

Pemakaian *supercharger* memiliki efek negatif pada pemakaiannya antara lain :

- Kurang efisien dikarenakan untuk menggerakkan roller dan engine belt (sabuk mesin) juga menggunakan tenaga dari mesin. Jadi *supercharger* meminjamkan tenaga dengan meminjam tenaga dari mesin. Tetapi dengan rasio peningkatan power lebih tinggi dibanding tenaga yang dipinjamnya.
- Akibat peminjaman tenaga, mesin bekerja lebih berat dan keras, juga peningkatan suhu yang berdampak pada usia pemakaian mesin.

Turbocharger

Turbocharger adalah komponen berupa kompresor yang digunakan mesin pembakaran dalam untuk meningkatkan tenaga mesin dengan meningkatkan massa oksigen yang memasuki mesin. Kunci keuntungan *turbocharger* adalah peningkatan tenaga mesin. Ada perbedaan dalam proses kerja antara *supercharger* dan *turbocharger*, yaitu berdasarkan pada sumber penggerakannya. Dimana pada *supercharger* impeler turbin digerakkan oleh mekanik yang ditransfer dari putaran poros engkol. Sedangkan pada *turbocharger* memanfaatkan gas buang sebagai penggerak impeler turbin. (Mahadi, 2010)

Tujuan utama penggunaan *turbocharger* adalah untuk memperbesar daya mesin (30 – 80%). Mesin diesel dengan *turbocharger* dapat bekerja lebih efisien. apabila mesin bekerja pada ketinggian lebih dari 1500 m diatas permukaan laut. *Turbocharger* mempunyai arti penting dalam usaha mengatasi kerugian daya. Hal tersebut disebabkan oleh berkurangnya kepadatan udara atmosfer di tempat tersebut. (Mahadi, 2010)

Kerugian memakai *turbocharger* pada metode tekanan konstan adalah :

- *Turbo Lag* adalah adanya 'jeda' pada saat turbo akan aktif. Dikarenakan adanya proses menunggu dari menginjak gas pembakaran semakin besar pembuangan menghasilkan aliran yang lebih besar - Turbo aktif.
- Karena kerjanya semakin efektif dengan meningkatnya pasokan udara hasil pembakaran, maka turbo akan lebih terasa di putaran mesin tinggi.
- Jika dilakukan dengan teknik menginjak pedal gas secara tiba-tiba, turbo dapat memberikan lonjakan tenaga dan berpengaruh terhadap stabilitas dan traksi mobil.
- Turbo akan membutuhkan oli mesin lebih karena hasil pembakaran membuat turbo cenderung menjadi sangat panas.

2.6. Electric Control Fan

2.6.1. Arduino Uno

Arduino adalah papan mikrokontroler kecil dengan konektor USB untuk terhubung ke komputer. Jumlah soket koneksi yang dapat ditransfer ke elektronik eksternal seperti motor, relay, lampu sensor, dioda laser, pengeras suara, mikrofon, dan barang-barang lainnya. *Arduino* dapat diberi daya melalui koneksi USB dari komputer, dari baterai atau *power supply*. Mereka dapat dikontrol dari komputer atau diprogram oleh komputer dan kemudian terputus dan dibiarkan bekerja secara independen. (Wijayanto, 2016)

Arduinio uno merupakan minimum system board yang menggunakan mikrokontroler *Atmega328*. *Arduino Uno* memiliki 14 pin input / output (6 pin dapat digunakan sebagai output PWM), 6 input analog, osilator kristal 16 MHz, koneksi USB, konektor tegangan, header ICSP, dan tombol reset. *Arduino Uno* berisi semua yang diperlukan untuk mendukung mikrokontroler. (Wijayanto, 2016).



Gambar 2. 1. Arduino Uno
Sumber : (Wijayanto, 2016).

2.6.2. Mikrokontroler AVR ATmega 8535

Mikrokontroler adalah IC yang dapat diprogram berulang kali, baik ditulis atau dihapus. Biasanya digunakan untuk pengontrolan otomatis dan manual pada perangkat elektronika. Pada dasarnya yang membedakan masing-masing kelas adalah memori, peripheral, dan fungsinya. Dari segi arsitektur dan instruksi yang digunakan,

mereka bisa dikatakan hampir sama. Mikrokontroler AVR ATmega8535 memiliki fitur yang lengkap dilengkapi dengan ADC internal, EEPROM internal, Timer / Counter, PWM, analog comparator, dll (M.Ary Heryanto, 2008).

2.6.3. Liquid Crystal Display(LCD)

Liquid Crystal Display adalah suatu media penampil yang menggunakan kristal cair sebagai penampil utama. Pada LCD berwarna semacam monitor, terdapat banyak sekali titik cahaya (pixel) yang terdiri dari satu buah kristal cair sebagai suatu titik cahaya. Sumber cahaya didalam sebuah perangkat LCD adalah lampu neon berwarna putih yang berada dibagian belakang susunan kristal cair berukuran 16x2.

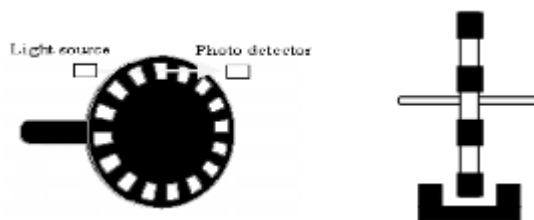


Gambar 2. 2. *Liquid Crystal Display*

Sumber: (Wijayanto, 2016).

2.6.4. Sensor RPM (*Optocoupler*)

Optocoupler Sensor optik ini membaca piringan berlubang yang dipasangkan dengan dikopel pada poros mesin. Banyaknya lubang sangat mempengaruhi ketelitian pembacaan kecepatan. Lubang yang dibuat sebanyak 60 buah. Ini dikarenakan keterbatasan alat dan bahan, dan juga untuk memudahkan dalam pemrograman. Pemasangan sensor ditunjukkan pada gambar berikut. (Gunawan, 2012).



Gambar 2. 3. Pemasangan sensor (*Optocoupler*).

Sumber : (Gunawan, 2012).

Optocoupler terdiri atas led inframerah dan fototransistor. Led inframerah yang digunakan hanya mampu melewati arus maksimal sebesar 20 mA. Oleh karena itu perlu ditambahkan sebuah resistor sebagai pembatas arus. Besaran nilai resistor minimal ditentukan dengan menggunakan perhitungan sebagai berikut. (Gunawan, 2012).

Sensor RPM optocoupler yang akan dipakai pada penelitian kali ini adalah jenis sensor IR Proximity Sensor, yang memiliki data seperti berikut :

Featured

- 5VDC operating voltage.
- Pin I/O Kompatible 5V and 3.3V.
- Sensitivitas pembacaan dapat disesuaikan.
- 20mA supply current.
- Mounting hole.



Gambar 2. 4. Hardware Detail IR Proximity Sensor
Sumber : (Silicon TechnoLabs, 2015)

Sensor optocoupler merupakan suatu piranti yang terdiri dari 2 bagian yaitu transmitter dan receiver.

a. Transmitter

Merupakan bagian yang terhubung dengan rangkaian *input* atau rangkaian kontrol. Pada bagian ini terdapat sebuah LED infra merah (IR LED) yang berfungsi untuk mengirimkan sinyal kepada *receiver*. Pada *transmitter* dibangun dari sebuah LED Inframerah. Dibandingkan dengan LED biasa, LED infra merah memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap sinyal tampak. Cahaya yang dipancarkan oleh LED infra merah tidak terlihat oleh mata telanjang. (Darmana, 2015)

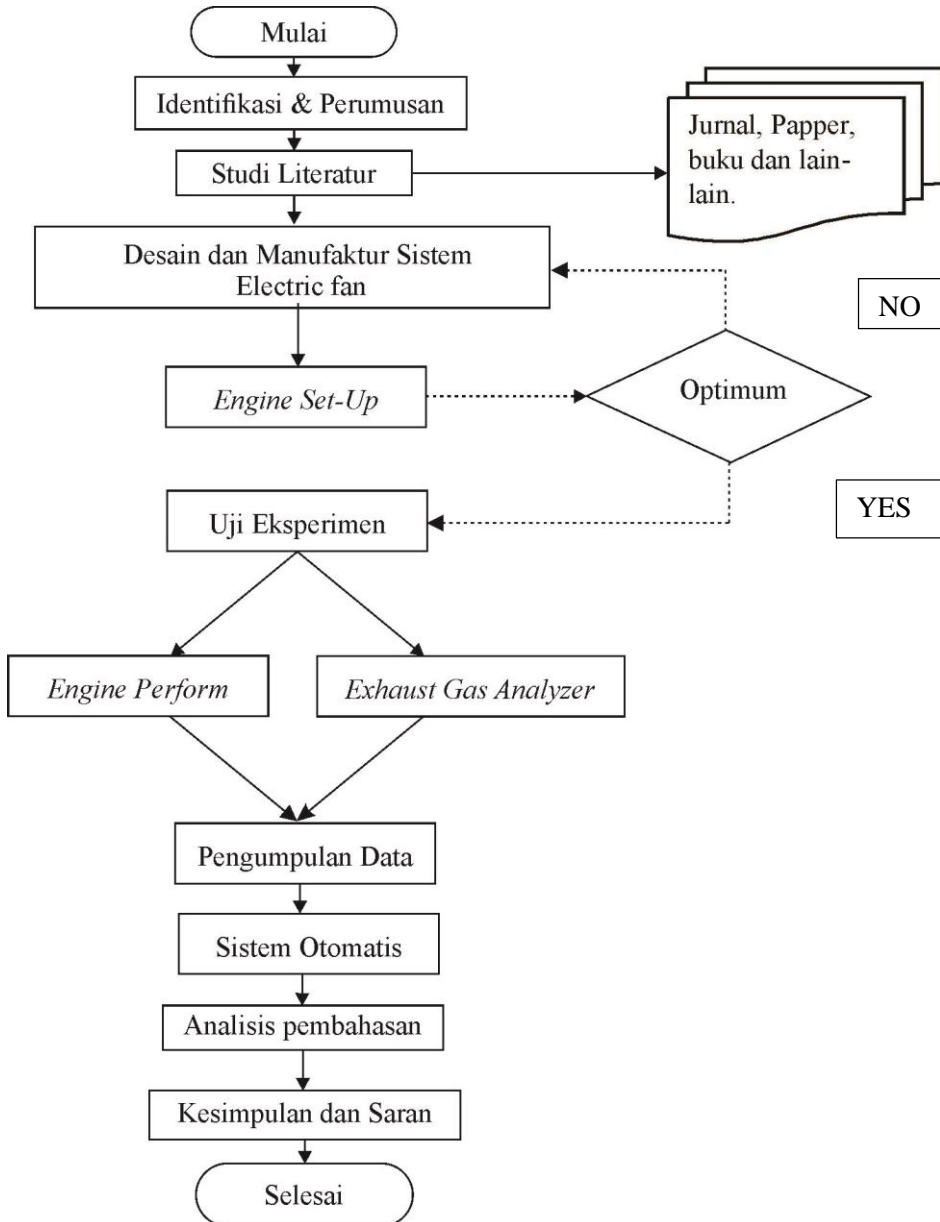
b. Receiver

Merupakan bagian yang terhubung dengan rangkaian output atau rangkaian beban, dan berisi komponen penerima cahaya yang dipancarkan oleh *transmitter*. Komponen penerima cahaya ini dapat berupa *photodiode* ataupun *phototransistor*. Tujuan utama dari digunakannya sensor cahaya dan piringan sensor adalah untuk mendapatkan data kecepatan putaran dari setiap roda.

Piringan sensor yang digunakan dibuat dari sebuah cd (*compact disc*) berwarna putih. Sedangkan sensor cahaya yang digunakan adalah *optocoupler* yang prinsip kerjanya adalah ketika sensor membaca atau mendeteksi benda di depannya. Warna hitam maka pantulan dari cahaya inframerah yang diterima sedikit. Sensor mendeteksi benda di depannya berwarna putih maka pantulan cahaya yang diterima di *receiver* lebih banyak. (Darmana, 2015)

BAB III METODELOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan penulis dalam penelitian ini yaitu dengan menggunakan metode eksperimen. Adapun diagram metodologi yang digunakan adalah seperti yang ditunjukkan pada diagram alir pada gambar 3.1 sebagai berikut:



Gambar 3. 1. Flowchart Alur Pengerjaan

Gambar 3.1 merupakan flowchart alur pengerjaan tugas akhir yang menjadi acuan dalam pengerjaan tugas akhir ini yaitu :

3.1. Identifikasi dan Perumusan Masalah

Pada tahapan identifikasi dan perumusan masalah merupakan tahapan awal untuk melakukan penelitian ini. Tujuan dari perumusan masalah yaitu menggali informasi dengan mempelajari kajian yang telah dilaksanakan sebelumnya. Perumusan masalah didapatkan penulis merupakan pengembangan dari beberapa kajian yang telah dilakukan. *Conversion of Naturally aspirated Diesel engine to turbocharged engine for improving the performance for Genset applications (Arvind, 2016)*. Dalam penelitian tersebut melakukan sebuah eksperimen dengan mengubah mesin konvensional (Naturally Aspirated) ke mesin diesel. Pada penelitian tersebut sistem *force Induction* menggunakan Turbocharge. Penelitian tersebut sudah terbukti bahwa mesin konvensional bisa di modifikasi menjadi mesin *force induction system*. Sehingga penulis mengembangkan dari penelitian sebelumnya dengan memperbarui sistem *force induction* berbasis control fan system pada mesin diesel 1 silinder.

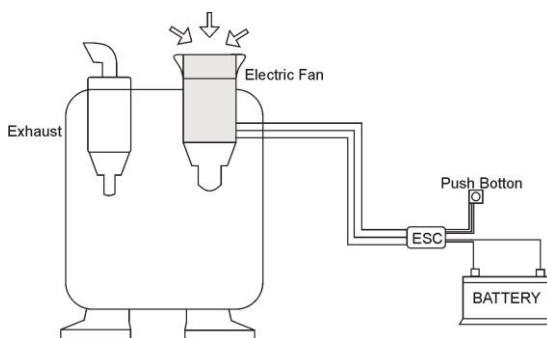
3.2. Studi Literatur

Studi literatur adalah metode yang digunakan dalam penelitian ilmiah yang dilakukan dengan membaca dan mengolah data yang diperoleh dari literatur. Data yang dibaca dan diolah adalah data yang berhubungan dengan hasil – hasil penelitian yang telah dilakukan oleh para peneliti sebelumnya.

3.3. Desain dan Manufaktur Sistem Electric Fan

Tahapan awal dalam pemasangan electric fan pada saluran intake mesin diesel adalah proses desain. Di dalam proses desain dapat menggambarkan sebuah perencanaan manufaktur seperti yang terlihat pada gambar 3.2. dibawah. Proses desain dalam penelitian ini meliputi desain sistem electric fan dan desain intake manifold untuk peletakan electric fan pada mesin diesel.

Dalam merencanakan komponen yang dapat dimanufaktur perlu digambar terlebih dahulu menggunakan aplikasi 3D desain. Hal tersebut untuk meminimalisir terjadinya kesalahan untuk setiap komponen yang dimanufaktur.



Gambar 3. 2. Sistem Electric Fan

Beberapa data diperlukan untuk melakukan estimasi ukuran terhadap komponen yang dapat dibuat. Saluran yang dapat dimodifikasi memiliki diameter intake manifold 4,5 cm. Dikarenakan diameter Intake manifold berbeda dengan diameter Electric fan, maka ujung intake manifold dibuat lebih besar dengan ukuran 7 cm.



Gambar 3. 3. Desain Intake Manifold

Pada gambar 3.3. merupakan gambar 3D intake manifold yang akan dibuat secara real dengan manufaktur yang ada. Pada belokan intake manifold menggunakan pipa elbow berukuran 4,5cm terbuat dari pipa besi. Diameter pada udara masuk di desain lebih besar untuk electric fan.

Seluruh komponen penyusun sistem electric fan dipasang seperti pada desain ditunjukkan gambar 3.4.(a) menunjukkan sistem electric fan tampak atas, 3.4.(b) menunjukkan sistem electric fan tampak depan. Gambar 3.4.(c) menunjukkan sistem electric secara keseluruhan.



(a)



(b)



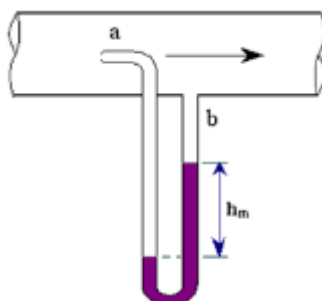
(c)

Gambar 3. 4. Sistem Electric Fan pada Intake Manifold

Setelah di uji pra eksperimen penulis memiliki kendala seperti electric fan. Ketika hidup dan kondisi mesin diesel juga hidup tekanan yang ada pada saluran intake manifold sulit terbaca oleh vaccum gauge dan juga pressure gauge. Sehingga penulis menggunakan perhitungan kapasitas udara yang masuk ke ruang bakar.

Metode Menghitung Kapasitas Udara

Penggunaan electric fan pada saluran intake manifold mesin diesel mempengaruhi kapasitas udara pada mesin. Metode perhitungan kapasitas tersebut menggunakan metode yaitu pipa pitot. Untuk membandingkan kapasitas udara setelah menggunakan electric fan maupun sebelum menggunakan electric fan.



Gambar 3. 5 Skema Pipa Pitot dengan Manometer

Pitot tube merupakan salah satu metode untuk mengetahui velocity fluida yang mengalir pada pipa. Pada gambar 3.5 diatas menunjukkan skema pitot tube dengan manometer U. Pitot tube terbagi menjadi 3 tekanan yaitu titik a adalah tekanan

stagnasi. Titik b adalah tekanan statis dan didalam manometer merupakan tekanan dinamis. Δh yang timbul didalam manometer digunakan untuk mengetahui velocity fluida yang mengalir didalam pipa. Dengan diketahuinya kecepatan udara, maka kapasitas dari fluida tersebut dapat dihitung.



(a)



(b)

Gambar 3. 6 Desain pitot Tube pada Sistem Intake Manifold

Gambar 3.6 merupakan lubang pitot tube pada pipa Intake. Pitot tube yang dibuat sendiri terdiri atas pipa untuk tekanan stagnasi dan tekanan statis. Material yang digunakan adalah pipa kuningan dengan diameter dalam 3 mm. Salah satu pipa dipasang dengan posisi yang berada didalam pipa membentuk belokan 90 derajat. Arah inlet pipa pitot menghadap berlawanan dengan arah aliran fluida yang mengalir.

Sedangkan untuk pipa tekanan statis diletakkan didasar pipa dengan lubang mengarah tegak lurus dengan arah aliran fluida. Kedua ujung pipa dihubungkan ke manometer U untuk mengetahui tekanan dinamis dan Δh yang terjadi.



Gambar 3. 7. Manometer U

Manometer yang digunakan pada penelitian ini adalah manometer U dengan fluida yang digunakan adalah solar dex. Fluida ini digunakan karena memiliki massa jenis yang rendah yaitu 850 kg/m^3 , lebih rendah dibanding air raksa dan air. Dengan massa jenis yang rendah diharapkan mampu memberikan pembacaan yang detail pada manometer U. Pada gambar 3.7. diatas menunjukkan penampakan manometer U yang digunakan dalam pengukuran kapasitas udara.

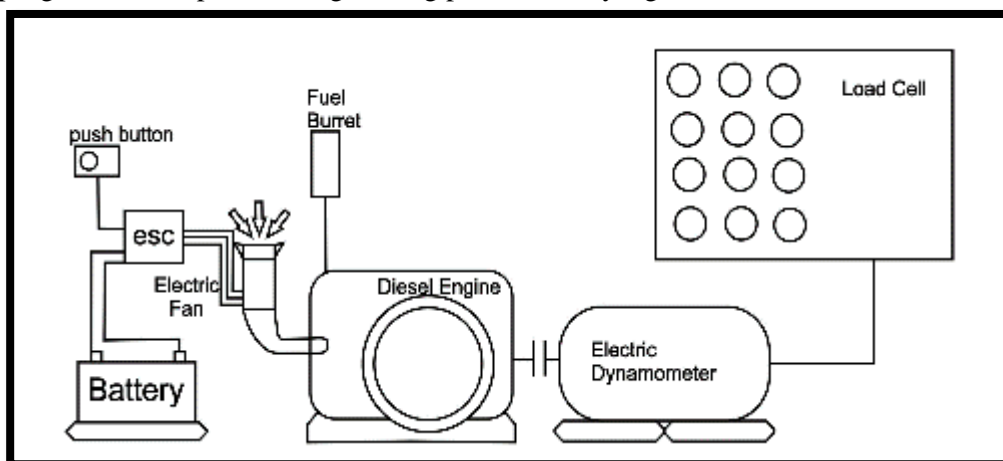


Gambar 3. 8. Engine Set Up Untuk Kapasitas udara menggunakan Electric fan

Gambar 3.8. Merupakan proses engine set up dan pra eksperimen pada mesin diesel untuk mencari kapasitas udara. Proses pra eksperimen yaitu dengan cara menghubungkan mesin dengan dinamometer pembebanan.

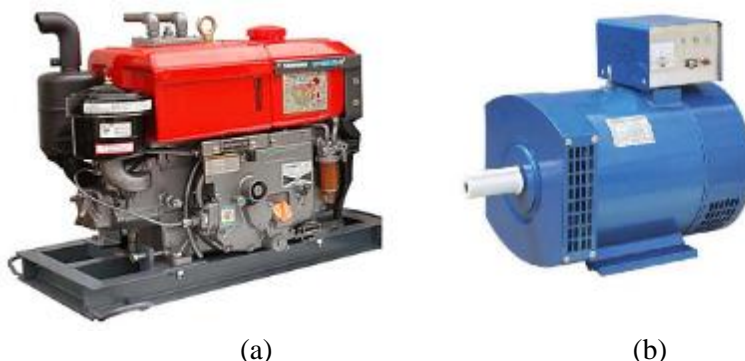
Engine Set-Up

Pada tahap ini dilakukan proses setting pada mesin diesel. Komponen Electric Fan dan peralatan-peralatan untuk proses pengujian. Setelah itu, mesin dihubungkan pada generator sebagai alat uji performa. Output generator dihubungkan pada lampu dengan variasi pembebanan 0 hingga 5000 watt. Buret juga disiapkan sebagai pengukur SFOC pada masing-masing pembebanan yang diterima oleh mesin diesel.



Gambar 3. 9. Engine Set up

Pada Engine Set Up dilakukan pengecekan mengenai kondisi mesin untuk mengetahui kondisi mesin sebelum dilakukan penelitian. Mesin yang digunakan dalam pengambilan data adalah YANMAR Diesel Engine dengan tipe TF 85 MH.



Gambar 3. 10. (a) Mesin diesel Yanmar TF 85 MH. (b) *Generator electrical Dynamometer*

Dilihat pada gambar 3.10. merupakan alat uji yang nantinya akan di Engine set-up kan dengan electric fan pada saluran intake.

Tabel 3. 1. Spesifikasi Mesin diesel Yanmar TF 85 MH

Model	TF 85 MH
Engine Model	Diesel engine 4 Stroke horizontal with water cooler
Aspiration	Natural
No. of Cylinders	1
Cyl. Bore x Stroke, mm	85 x 87
Displacement, cc	493
Fuel Type	Diesel Fuel
Fuel	Diesel Fuel
Specific Fuel Consumption, gr/dk jam	171
Lubrication Oil, liter	2.2
Lubrication Oil	SAE 40
Daya kontinyu	7.5HP (5,59 KW) / 2200 rpm
Torsi Maksimum	3.44 kg.m / 1600 rpm

Dalam tahap ini, diharapkan semua peralatan dan bahan sudah siap sehingga dapat mempermudah dalam proses pengambilan data. Dalam penelitian ini beberapa variabel yang harus disiapkan antara lain :

1. Uji Performa :

- Variabel Tetap : HSD
- Variabel Berubah : Electric Fan, RPM, Beban
- Variabel Hasil : Power, Torsi, SFOC

2. Uji Emisi :

- Variabel Tetap : HSD
- Variabel Berubah : Electric Fan, RPM dan beban (Berdasarkan IMO Marpol annex VI), % EGR
- Variabel Hasil : NOx

3.4. Uji Eksperimen

Tahap ini dilakukan setelah semua proses engine set up selesai dikerjakan. Membandingkan ketika mesin diesel menggunakan electric fan dan tidak menggunakan electric fan pada saluran intake. Data yang dapat dibandingkan berupa data performa mesin dan NOx. Tujuan dilakukan pengujian yaitu untuk mengetahui antara lain :

1. *Engine Perform* : yang didalamnya dapat dilakukan uji prestasi mesin yang didalamnya dapat diketahui daya, torsi, dan SFOC.
2. Kadar NOx yang didalamnya dapat diketahui penurunan jumlah NOx pada gas buang setelah pemasangan electric fan pada saluran intake mesin diesel.

3.5. Pengumpulan Data

Pengumpulan data diperoleh dari hasil eksperimen yang sudah dilakukan, dari tahap pra eksperimen hingga tahap eksperimen. Hasil yang diperoleh merupakan data perbandingan performa mesin, dan data kadar NO_x pada penggunaan *electric fan* mesin diesel.

Adapun beberapa parameter yang berpengaruh terhadap performasi yang dihasilkan pada mesin diesel ketika menggunakan *electric fan*. Seperti kecepatan udara pada intake manifold mesin diesel dan kapasitas udara pada intake manifold.

3.5.1. Laju udara Fluida

Untuk mengetahui laju aliran fluida dalam sebuah pipa pada intake manifold. Pengukuran fluida udara bisa menggunakan manometer digital dan tabung manometer pipa U. Fluida pada manometer pipa U menggunakan fluida bahan bakar solar dex. Akan dihitung perbedaan ketinggian cairan (Δh) di dalam tabung dengan menggunakan rumus persamaan bernoulli.

$$v = \sqrt{\frac{2p'gh}{\rho}} \dots\dots\dots (3. 1)$$

Dimana :

P' = Row fluida pada tabung manometer pipa U

g = gaya gravitasi (9,81 m/s²)

h = perbedaan ketinggian pada pipa U (m)

ρ = row udara

Untuk mengetahui kapasitas udara pada saluran pipa intake mesin diesel. Maka menggunakan rumus kapasitas yaitu perkalian antara kecepatan fluida yang melewati pipa dengan luas penampang dari pipa intake manifold mesin diesel.

$$Q = V \times A \dots\dots\dots (3. 2)$$

Dimana

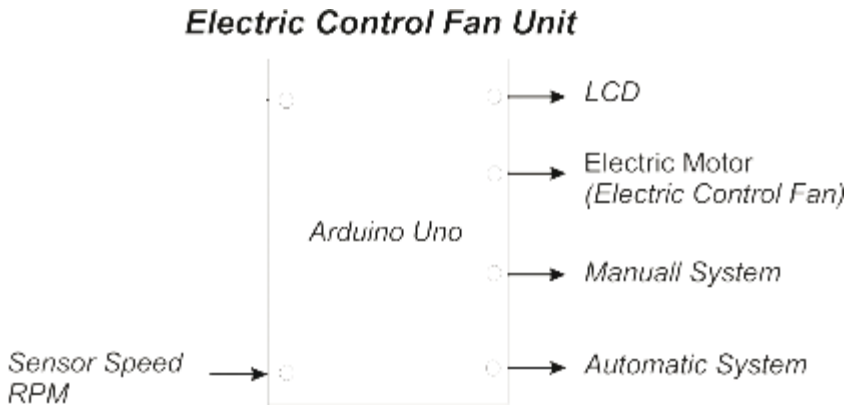
Q = Kapasitas (m³/s)

V = Kecepatan Fluida (m/s)

A = Luas penampang (m²)

3.6. Sistem Otomatis

Pada tahapan “Persiapan peralatan elektronik mikrokontroler dan pemasangan beberapa sensor pada mesin uji”. Peralatan – peralatan yang harus terpasang pada mesin uji yaitu sensor RPM (*Hall Effect*), *Arduino Uno*, dan *electric fan*. Diagram skematis dari peralatan percobaan ditunjukkan pada Gambar 3.9.



Gambar 3. 11. Diagram Proses sistem Otomatis

Sensor Speed RPM

Sensor IR-08H bekerja dengan mengirimkan sinyal inframerah dari frekuensi tertentu. Ketika sinarinfra merah menemui hambatan (permukaan pantulan), sinar itu dipantulkan dan diterima oleh receiver. Kemudian lampu indikator akan menyala. Pada sensor IR memiliki potensiometer, yang berfungsi untuk menyesuaikan jarak deteksi.



Gambar 3. 12. Modul IR-08H

Tabel 3. 2. Datasheet Modul IR-08H

Manufacturer Specification	
Working Voltage	2,4 V to 5V DC
Working Current	≥ 20mA
Operating Temp	-10°C to +50°C
Detected Distance	2 to 40cm
IO Interface	4-pin (EN / Out / VCC / GND)
Output signal	TTL level
	LOW level if obstacle detected

	HIGH if no obstacle detected
Size	28mm × 23mm
Weight	9g

Meskipun sensor memiliki 4 PIN, hanya 3 yang pertama digunakan. PIN terakhir, tidak digunakan. GND terhubung pada GND Arduino, Vcc terhubung pada 5V arduino dan Out terhubung pada pin 2 arduino. Pada tabel datasheet telah ditunjukkan pada tabel 3.2. Spesifikasi modul tersebut memenuhi untuk di rangkai pada kolom proses yang utamanya pada saat proses menggunakan *Arduino UNO*.

Pada dasarnya sensor IR-08H merupakan sensor yang bekerja berdasarkan input yang diterima I/O berdasarkan warna yang ditangkap pada lampu modul.

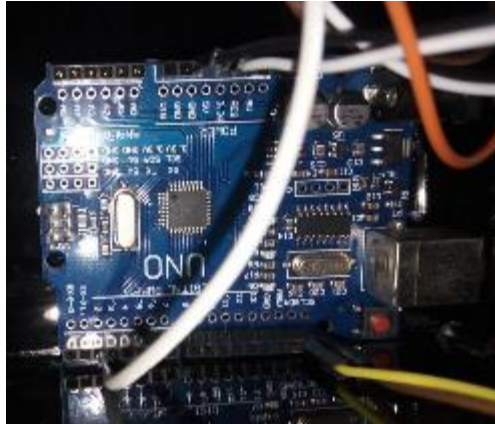


Gambar 3. 13. Tachometer Digital

Kalibrasi merupakan perbandingan nilai sensor dibandingkan dengan alat hitung sebenarnya. Tachometer digunakan untuk melihat RPM sebenarnya. Ketika nilai sensor sudah mendekati nilai alat tachometer dan hasilnya konstan maka akan diambil nilai tersebut. Apabila terdapat gap pada nilai tersebut maka akan di hitung mengenai *margin of error* dari sensor tersebut berapa persen perbedaan nilai antara sensor dengan tachometer.

ARDUINO UNO

Merupakan sebuah komponen elektronik yang sudah lengkap untuk mengontrol sebuah alat – alat yang memiliki spek yang tidak terlalu tinggi. Arduino Uno adalah board mikrokontroler berbasis ATmega328 (datasheet). Memiliki 14 pin input dari output digital. Pada 6 pin input tersebut dapat digunakan sebagai output PWM dan 6 pin input analog, koneksi USB, jack power, dan tombol reset. Untuk mendukung mikrokontroler, cukup hanya menghubungkan Board Arduino Uno ke komputer dengan menggunakan kabel USB.



Gambar 3. 14. Arduino UNO

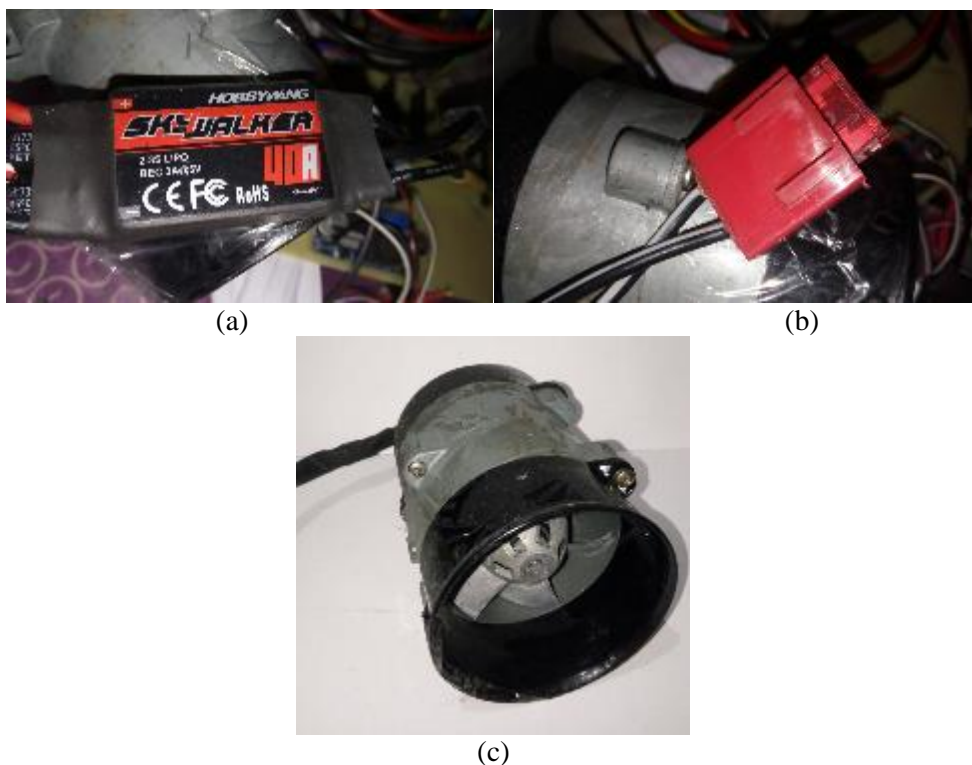
Tabel 3. 3. Datasheet Microcontroller Atmega328

Microcontroller Atmega328	
Operasi dengan daya	5V Voltage
Input Tegangan (disarankan)	7-12V
Input Tegangan (batas)	6-20V
Digital I / O	Pins 14 (pin 6 output of PWM)
Analog Input	Pin 6
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)

Electric fan

Electric Fan yang digunakan pada penelitian kali ini menggunakan electric fan yang sering digunakan untuk supercharger pada mesin bensin. Electric fan yang digunakan membutuhkan beberapa komponen tambahan untuk mengontrol speed atau putaran. Komponen tambahan untuk mengontrol speed tersebut yaitu sikring dan ESC (Electric Speed Control).

Pengontrolan biasanya menggunakan potensiometer ataupun langsung dari program menggunakan sistem sinyal PWM. Adapun juga kompoen tambahan yang sebagai safety untuk arus atau biasa disebut sikring.



Gambar 3. 15. (a) ESC (*Electric speed control*), (b) Sikring, (c) *Electric Fan*

Dari gambar 3.15. pada electric fan lebih mudah untuk dikontrol melalui komponen ESC. ESC memiliki 3 kabel yang digunakan untuk input pengontrolan yang nantinya akan di sambungkan pada unit kontrol yaitu *Arduino UNO*.

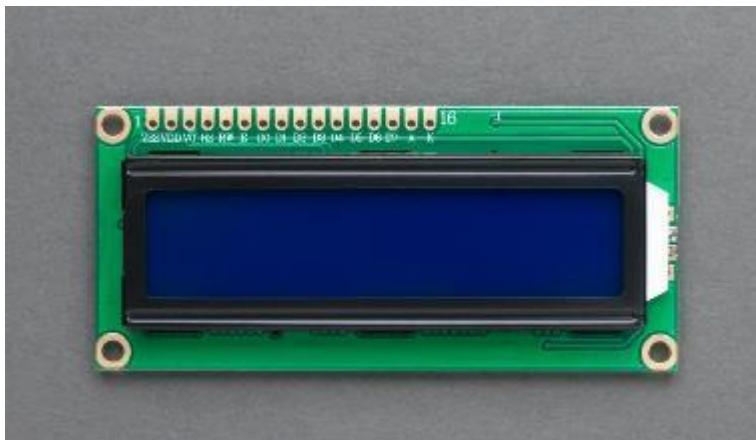
Tabel 3. 4. Spesifikasi Electric Fan

Spesifikasi Electric Fan	
Motor	Brushless
Rated Voltage	12 – 15 V
Speed	3500 RPM
Max Speed	52000 RPM
ESC Voltage	7.4 – 14.8 V Brushless 40 A
Booster	0,2 – 0,3 Bar
Ukuran	
Diameter Depan	3 Inch = 7,62 cm
Diameter Belakang	2.75 Inch = 6,985 cm

LCD (*Liquid Crystal Display*)

LCD merupakan sebuah komponen yang digunakan untuk memudahkan operator melihat kondisi yang sedang terjadi pada alat yang dirangkai. Pada alat yang

dirancang pada tugas akhir ini akan menggunakan LCD dalam pemantauan. LCD diprogram untuk melihat RPM yang terjadi pada mesin diesel berdasarkan putaran flywheeel yang terbaca sensor RPM berupa IR-08H.



Gambar 3. 16. Komponen LCD (*Liquid Crystal Display*)

Tabel 3. 5. Datasheet LCD

Parameter	Symbol	Condition	Min	Type	Max	Unit
Supply voltage for LCD	VDO - V0	Ta = 25 C	-	3	-	V
Input Voltage	VDD		3,1	3,3	3,5	
Supply Current	IDD	Ta = 25 C , VDD=3.3V	-	1,5	2,5	mA
H level input voltage	VIH		2,2	-	VDD	V
L level input voltage	VIL	Twice intial value or less	0	-	0,6	
H level output voltage	VOH	LOH = -0,25 mA	2,4	-	-	
L level output voltage	VOL	LOH = 1,6 mA	-	-	0,4	

Backlight supply voltage	VF		-	3		
Backlight supply current	I _{LED}	V _{LED} = 3,3 V R = 25 ohm			16	mA

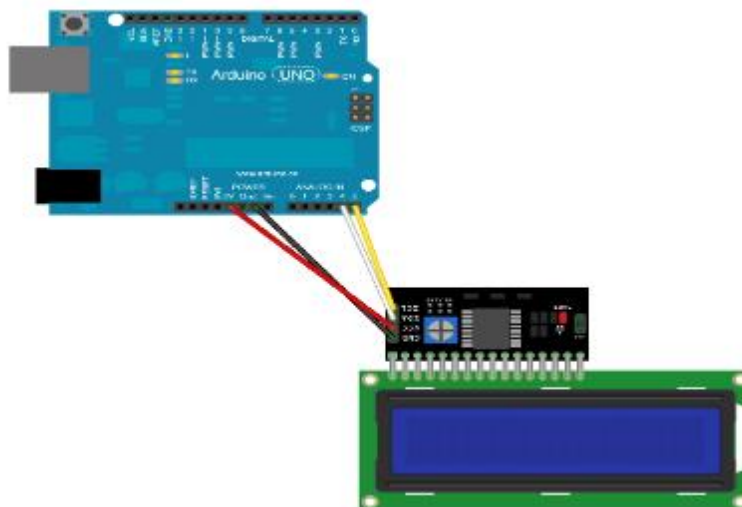
Tabel 3. 6. Pin Number LCD

Pin Number	Symbol	Function
1	VSS	GND
2	VDD	(+3V or +5V)
3	V0	Contrast Adjustment
4	RS	H/L Register Select Signal
5	R/W	H/L Read/Write Signal
6	E	H-L Enable Signal
7	DB0	H/L Data Bus Line
8	DB1	H/L Data Bus Line
9	DB2	H/L Data Bus Line
10	DB3	H/L Data Bus Line
11	DB4	H/L Data Bus Line
12	DB5	H/L Data Bus Line
13	DB6	H/L Data Bus Line
14	DB7	H/L Data Bus Line
15	A/V _{ee}	.+ 4,2V for LED/Negative Voltage Output
16	K	Powe Supply for B/L (OV)

Karena terlalu banyak kabel input, ditakutkan akan membuat input pada arduino akan terlalu banyak. Maka untuk mengkonvert dari 16 kabel input tersebut maka digunakan komponen modul IIC konverter untuk LCD. IIC yaitu modul LCD yang dikendalikan secara serial sinkron dengan protokol I2C/IIC (*Inter Integrated Circuit*).



Gambar 3. 17. IIC/I2C (*Inter Integrated Circuit*).



Gambar 3. 18. Wiring Diagram IIC with LCD.

Tabel 3. 7. Datasheet IIC

Specification IIC/I2C	
I2C Address Range	2 lines by 16 character
	0x20 to 0x27 (Default=0x27, addressable)
Operating Voltage	5 Vdc
Backlight	White
Contrast	Adjustable by potentiometer I2C interface
Size	80mm x 36mm x 20mm
Viewable area	66mm x 16mm

Pada gambar 3.16 adalah gambar wiring diagram pemakaian LCD dengan IIC. Berfungsi untuk mengurangi penggunaan kabel yang terdapat pada input LCD. PIN 16 input menjadi PIN 4 input kabel yaitu Vcc, Ground, SCL dan SDA.

Integrasi Hardware dan Software Sistem Kontrol

Pada tahap peng-Integrasian ini, perancangan hardware dan perancangan software yang telah dilakukan akan di gabungkan. Sehingga dalam uji coba akan didapatkan hasil yang akurat sesuai dengan data real time yang terjadi melalui layar yang terdapat pada sistem kontrol. Tujuan dari integrasian ini ada penyatuan antara perangkat lunak yang akan di masukan ke dalam perangkat keras yaitu Arduino uno.

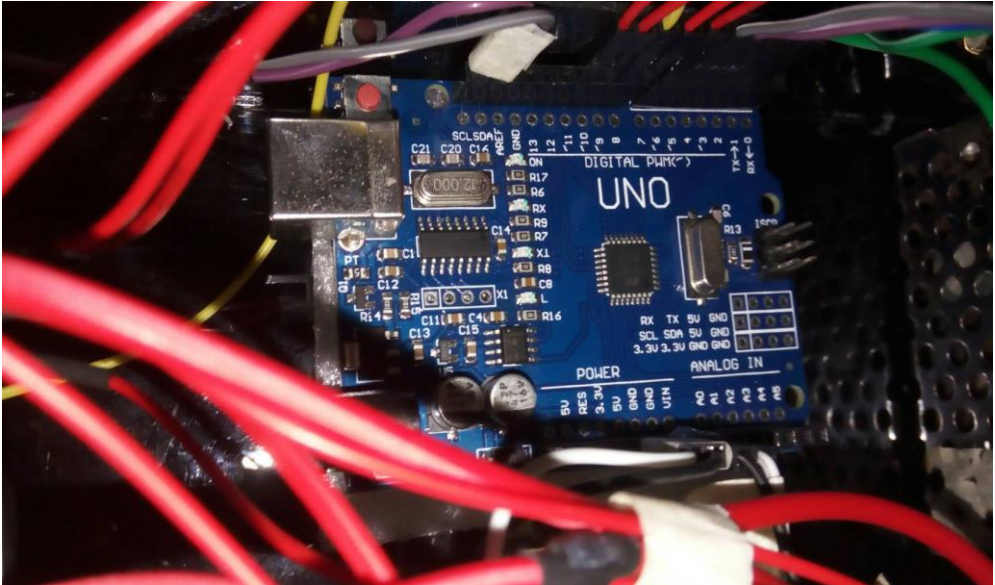
Penyusunan alat

Pada tahap penyusunan alat, terbagi menjadi 3 bagian seperti pada diagram proses pada BAB III. Bagan 1 yaitu input, bagan 2 yaitu proses dan bagan 3 yaitu output. Pada gambar 4.8. termasuk bagan 1 terdapat sensor RPM yaitu IR-08H dengan panjang kabel 1,5 meter. Sensor IR-08H dapat dipasang dan dilepas untuk memudahkan pemakaian atau biasa disebut portabel.



Gambar 3. 19. Sensor RPM IR-08H

Bagan 2 atau bagan proses adalah dimana otak dari pemrograman dibuat. Komponen yang menerima pemrograman adalah arduino uno. Arduino uno bekerja berdasarkan input yang masuk. Arduino akan memberikan output berupa putaran electric fan dan visualisasi LCD.



Gambar 3. 20. Bagan Proses dari *Electric Control Fan*.

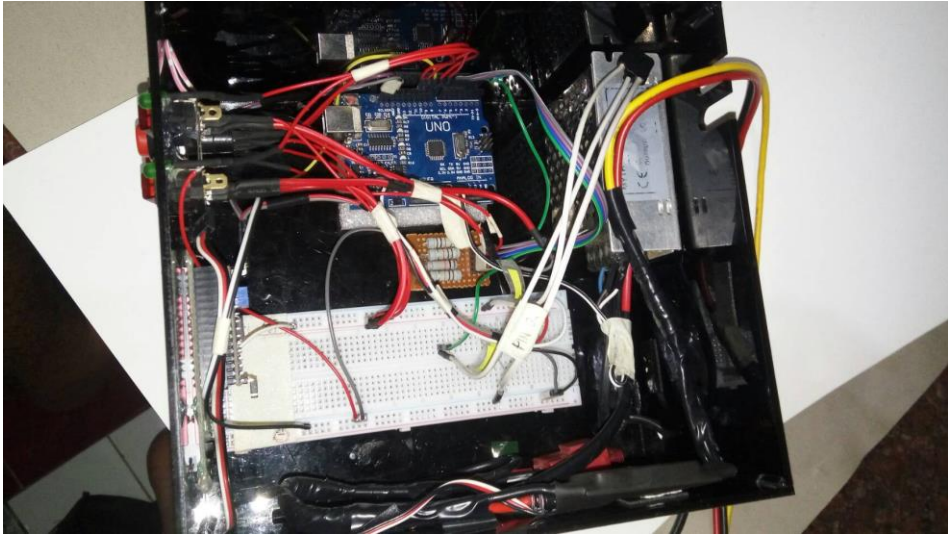
Dapat dilihat pada gambar 4.9. adalah arduino uno yang sebagai bagan proses dari electric control fan. Pada gambar tersebut adalah kondisi dimana kabel input dan output sudah terpasang pada pin di arduino uno.

Pada bagan 3 yaitu bagan output terbagi menjadi beberapa komponen. Komponen yang dimaksud adalah electric fan dan lcd. Pada gambar 4.10. adalah gambaran real komponen dari bagan output.



Gambar 3. 21. (a) LCD, (b) Electric Control Fan

Setelah semua komponen sudah siap untuk dipasang dapat dilihat pada gambar 4.11. Gambar tersebut adalah gambaran utuh dari rangkaian dan alat yang sudah dibuat.



Gambar 3. 22. Gambar rangkaian *electric control fan*.



Gambar 3. 23. Gambaran secara utuh sistem *Electric control fan*.

Terlihat pada gambar 4.12. sistem kontrol terdapat pada kotak hitam yang berada pada gambar. Sedangkan pada sebelah kanan gambar adalah pemasangan electric fan pada saluran intake mesin diesel modifikasi.

Perancangan Hardware Sistem Kontrol

Pada tahapan perancangan hardware dari sistem kontrol itu sendiri yaitu pemasangan komponen – komponen dari tahap peralatan elektronik. Perancangan *hardware* terbagi menjadi 3 bagian. Paling utama bagian *input* yang berarti

komponen akan memberikan input sinyal ke sistem kontrol. Bagian input itu sendiri terdiri dari sensor RPM.

Kedua yaitu bagian proses yakni input yang diberikan dari sensor RPM akan di proses pada bagian ini. Komponen yang bertugas memproses input yaitu *Arduino Uno*. Yang ke 3 yaitu bagian output yang bertugas memberikan respon perintah dari komponen *Arduino Uno* untuk melakukan sistem kontrol.

Kalibrasi Electric Fan

Kalibrasi electric fan dilakukan dengan cara mengukur kapasitas udara yang melewati pipa intake manifold mesin diesel. Utamanya kalibrasi electric fan pertama kali diukur kapasitas udara dalam keadaan manual mengikuti variasi rpm dan beban yang terjadi.

Setelahnya sistem otomatis akan dirangkai dan diuji coba untuk mendapatkan kapasitas yang terdapat pada pipa intake manifold dalam keadaan otomatis. Dengan begitu akan di dapatkan 2 (dua) nilai kapasitas yaitu :

1. Kapasitas udara dalam keadaan 0,2 Bar dan 0,3 Bar secara manual.
2. Kapasitas udara dalam keadaan 0,2 Bar dan 0,3 Bar secara otomatis.

Dari hasil percobaan tersebut akan dibandingkan kapasitas yang terjadi dalam kondisi manual dan otomatis. Dengan begitu penulis dapat mengetahui perbedaan kapasitas udara yang terjadi pada intake manifold. Perbedaan kapasitas yang terjadi pada sistem manual dan otomatis. Disebabkan oleh respon yang terjadi pada sistem otomatis lambat menerima input sensor dan lambat memerintahkan electric fan bekerja.

Tabel 3. 8. Sistem manual dan otomatis

RPM	Beban	Kapasitas Udara (m ³ /s)				Error %	
		Manual		Otomatis		0,2 Bar	0,3 Bar
		0,2 Bar	0,3 Bar	0,2 Bar	0,3 Bar		
1800	1000	0,01486	0,01493	0,01472	0,01478	0,9421%	1,0047%
	2000	0,01484	0,01493	0,01472	0,01478	0,8086%	1,0047%
	3000	0,01483	0,01495	0,01471	0,01477	0,8092%	1,2040%
1900	1000	0,0157	0,01578	0,01561	0,01562	0,5732%	1,0139%
	2000	0,01567	0,01577	0,01551	0,0156	1,0211%	1,0780%
	3000	0,01566	0,01577	0,01547	0,01561	1,2133%	1,0146%
2000	1000	0,01649	0,01658	0,01631	0,01641	1,0916%	1,0253%
	2000	0,01648	0,01658	0,01631	0,01639	1,0316%	1,1460%
	3000	0,01649	0,01658	0,01631	0,0164	1,0916%	1,0856%
2100	1000	0,0173	0,01742	0,01712	0,01722	1,0405%	1,1481%
	2000	0,01731	0,01739	0,01712	0,0172	1,0976%	1,0926%
	3000	0,01732	0,01739	0,01712	0,01716	1,1547%	1,3226%
2200	1000	0,01812	0,01826	0,01792	0,01805	1,1038%	1,1501%

	2000	0,01813	0,01821	0,01793	0,01801	1,1031%	1,0983%
	3000	0,01814	0,0182	0,01795	0,01792	1,0474%	1,5385%

Pada tabel 3.7. Merupakan kapasitas udara yang dihasilkan electric fan ketika kondisi 0,2 Bar dan 0,3 Bar pengukuran manometer U buatan sendiri. Pada tabel hanya menguji beberapa percobaan untuk melihat error yang terjadi.

Hal tersebut dibuktikan menggunakan kalkulasi statistika mengenai persebaran nilai yang terjadi pada nilai error, bisa disebut dengan standart error. Sebelum menghitung standart error maka harus diketahui standart deviasi dalam suatu varian. Standart deviasi adalah suatu indeks yang menggambarkan sebaran data terhadap rata-ratanya. Standard error (of mean) adalah indeks yang menggambarkan sebaran rata-rata sampel terhadap rata-rata dari rata-rata keseluruhan kemungkinan sampel (rata-rata populasi).

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \mu)^2}{n-1}} \dots\dots\dots (3. 3)$$

\sum = Jumlah dari kalkulasi $(X_i - \mu)^2$

X_i = Nilai untuk setiap angka dalam dataset (saya hanya mewakili nilai)

μ = Rata-rata untuk nilai dalam dataset

n = Jumlah nilai dalam dataset, jika terdapat 10 angka dalam dataset, maka $n = 10$

σ = Standart Deviation

Sedangkan untuk formula perhitungan mencari standart error yaitu dengan :

$$SE = \frac{SD}{\sqrt{n}} \dots\dots\dots (3. 4)$$

Keterangan

SE = Standart Error

SD = Standart Deviasi

n = jumlah nilai datasheet

Setelah menggunakan formula tersebut maka didapat standart deviasi sebesar 0,1647% untuk 0,2 Bar dan diperoleh standart error sebesar 0,04253%. Sedangkan kondisi 0,3 Bar standart deviasi sebesar 0,143076% dan diperoleh standart error 0,03694%

Perancangan Software Sistem Kontrol

Perancangan software sistem kontrol ini digunakan untuk memprogram isi dari Arduino Uno. Bahasa pemrograman dari Arduino Uno itu sendiri menggunakan

bahasa C. Aplikasi untuk pemrograman Arduino Uno penulis mengunduh dari web resmi Arduino Uno itu sendiri yaitu www.arduino.cc.

3.7. Analisa Pembahasan

Tahapan analisa dan pembahasan adalah tahap dimana penulis membahas performa. Performa yang diuji adalah SFOC, daya dan torsi yang terjadi antara mesin *diesel naturally aspirated* dan menggunakan *electric control fan*. Dengan menambahkan kapasitas dan tekanan secara tidak langsung akan membuat emisi NOx berubah. Penurunan maupun peningkatan NOx yang terjadi ketika menambahkan kapasitas dan tekanan akan dibahas pada tahap ini. Alat yang digunakan untuk mengukur emisi yaitu *gas analyzer*. Tingkat ke eror-an yang terjadi dengan menggunakan Arduino Uno akan dibahas dan di jelaskan pada tahap ini. Karena penelitian menggunakan sensor kecepatan RPM sehingga pembaca maupun penulis mengetahui ke akuratan yang terjadi pada yang dipasangkan.

3.8. Kesimpulan dan Saran

Setelah semua yang dilakukan, maka selanjutnya adalah menarik kesimpulan dari analisa data dan percobaan. Diharapkan nantinya hasil kesimpulan dapat menjawab permasalahan yang menjadi tujuan skripsi. Selain itu diperlukan saran berdasarkan hasil penelitian untuk perbaikan tugas akhir supaya lebih sempurna.

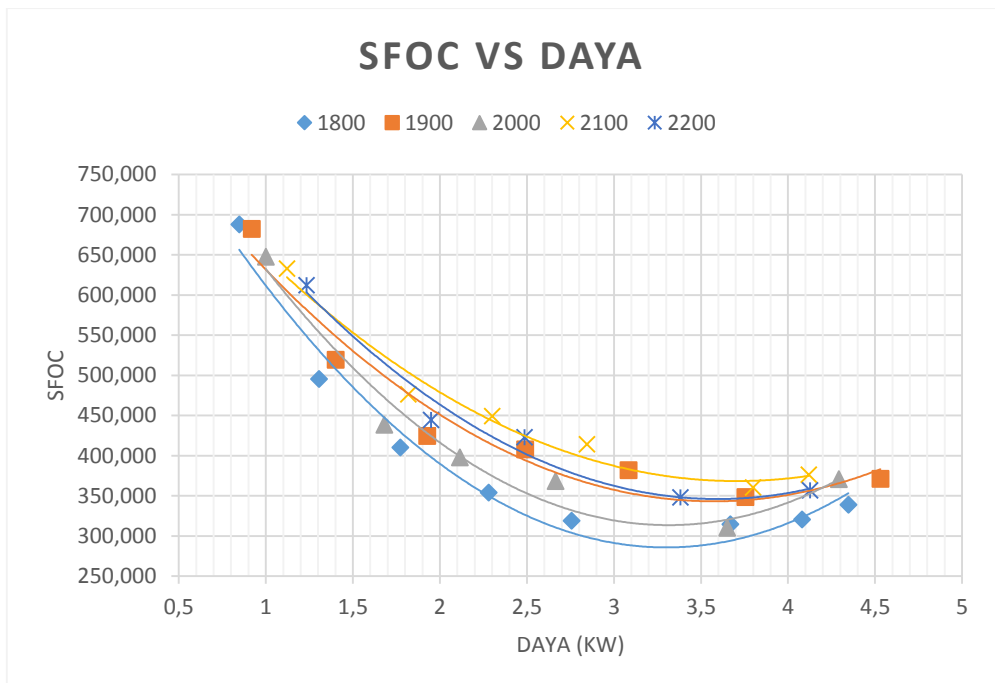
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Performa Mesin Diesel Menggunakan Electric Fan pada Saluran Intake.

Analisis hasil performa merupakan perbandingan grafik daya, torsi, dan SFOC dari data performa. Data performa diperoleh melalui proses eksperimen menggunakan mesin diesel yang telah dimodifikasi dengan menambahkan sistem Electric Fan pada saluran Intake mesin.

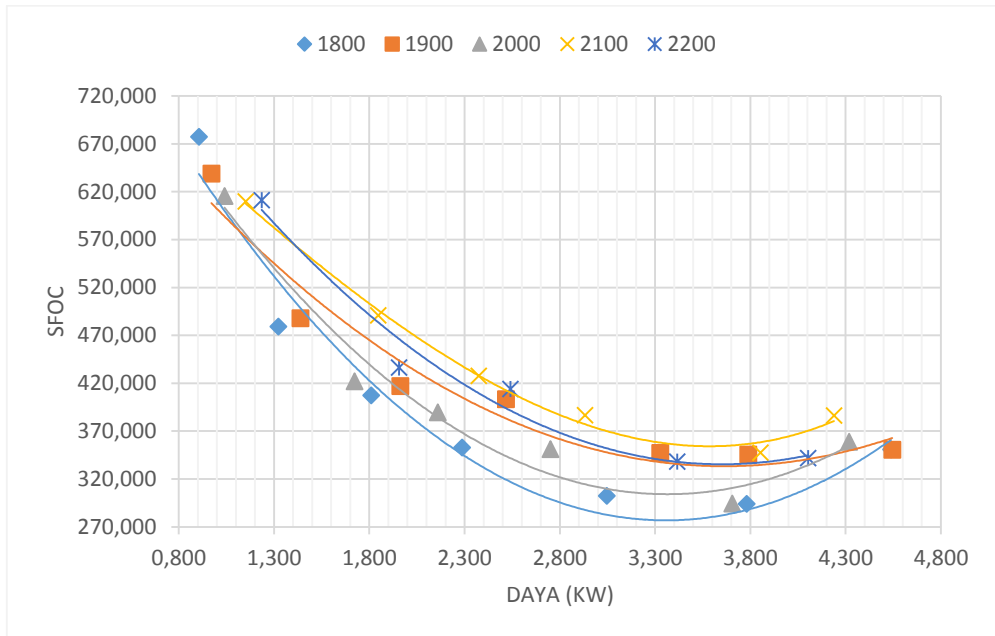
Tahap pertama untuk membuat sebuah grafik adalah menentukan nilai SFOC terhadap power. Setelah grafik SFOC pada masing-masing RPM terbentuk, titik lembah grafik yang menunjukkan nilai SFOC terendah pada masing-masing RPM dianggap sebagai nilai power mesin diesel 100%. Penelitian yang dilakukan menggunakan variabel RPM yang telah ditentukan yaitu pada 1800, 1900, 2000, 2100 dan 2200.



Gambar 4. 1. Performansi SFOC dengan Power pada *Kondisi Naturally Aspirated*.

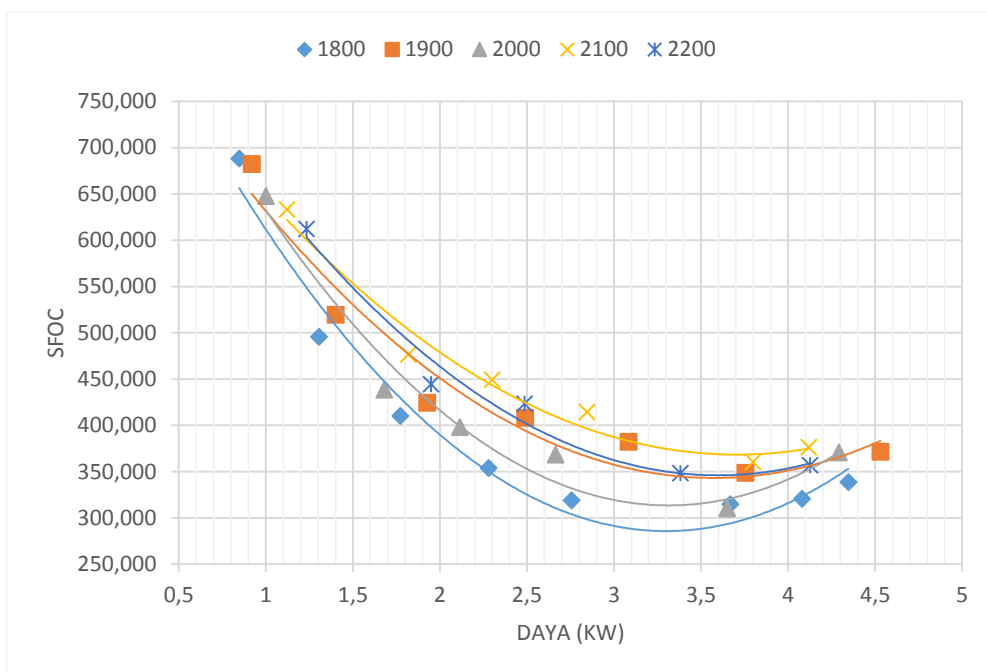
Pada grafik 4.1. menunjukkan grafik SFOC terhadap power ketika kondisi Intake manifold tidak dipasang Electric Fan pada masing – masing RPM. Titik SFOC terendah pada saat kondisi Electric Fan berada pada 2000 RPM yaitu sebesar 310,28 gr/kWh. Titik terendah pada 1800 RPM yaitu sebesar 314,815 gr/kWh. Titik SFOC terendah pada 1900 RPM sebesar 348,545 gr/kWh. Titik terendah pada saat putaran 2000 RPM menunjukkan nilai SFOC terendah sebesar 310,28 gr/kWh. Titik

terendah pada 2100 RPM sebesar 360,49 gr/kWh. Titik terendah pada 2200 RPM sebesar 348,29 gr/kWh. Titik lembah lengkung SFOC pada masing – masing RPM dijadikan nilai untuk membuat grafik 100% power untuk kondisi Electric Fan Off.



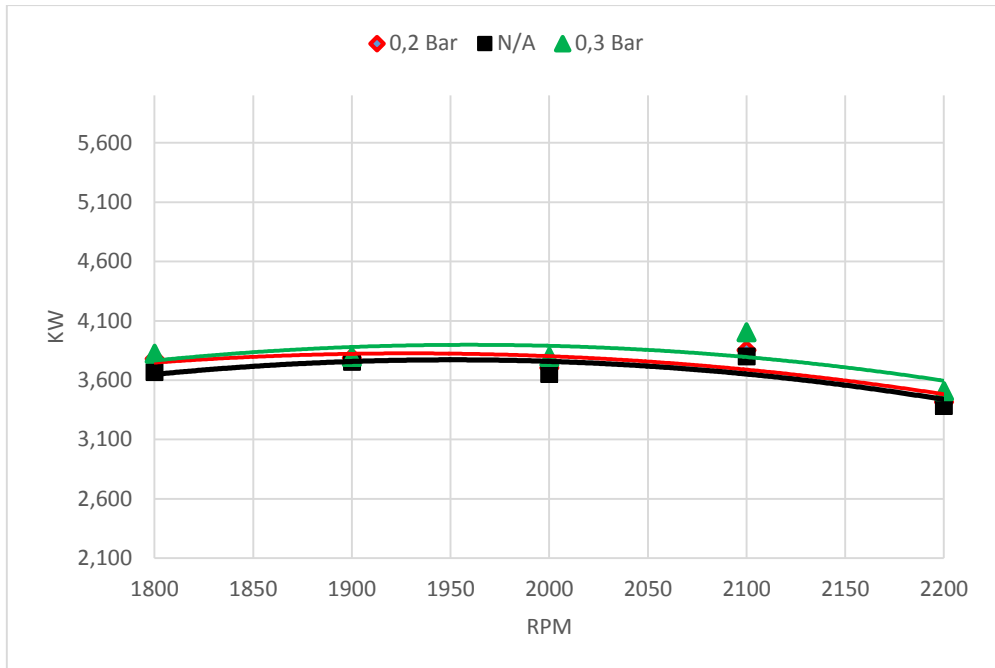
Gambar 4. 2. Performansi SFOC dengan Power kondisi Electric Fan 0,2 Bar.

Pada grafik 4.2. menunjukkan grafik SFOC terhadap power ketika kondisi Electric Fan terpasang 0,2 Bar pada Intake pada masing – masing RPM. Titik SFOC terendah pada saat kondisi Electric Fan berada pada 1800 RPM yaitu sebesar 293,919 gr/kWh. Titik terendah pada masing – masing RPM yaitu pada 1900 RPM yaitu sebesar 345,422 gr/kWh. Titik SFOC terendah pada 2000 RPM sebesar 294,391 gr/kWh. Titik terendah pada saat putaran 2100 RPM menunjukkan nilai SFOC terendah sebesar 347,42 gr/kWh. Titik terendah pada 2200 RPM sebesar 338,023 gr/kWh. Titik lembah lengkung SFOC pada masing – masing RPM dijadikan nilai untuk membuat grafik 100% power untuk kondisi Electric Fan terpasang.



Gambar 4. 3. Performansi SFOC dengan Power kondisi Electric Fan 0,3 Bar.

Pada grafik 4.3. menunjukkan grafik SFOC terhadap power ketika kondisi Electric Fan terpasang 0,3 Bar pada Intake pada masing – masing RPM. Titik SFOC terendah pada saat kondisi Electric Fan berada pada 2000 RPM yaitu sebesar 282,076 gr/kWh. Titik terendah pada masing – masing RPM yaitu pada 1800 RPM yaitu sebesar 290,643 gr/kWh. Titik SFOC terendah pada 1900 RPM sebesar 337,359 gr/kWh. Titik terendah pada saat putaran 2100 RPM menunjukkan nilai SFOC terendah sebesar 342,05 gr/kWh. Titik terendah pada 2200 RPM sebesar 322,970 gr/kWh. Titik lembah lengkung SFOC pada masing – masing RPM dijadikan nilai untuk membuat grafik 100% power untuk kondisi Electric Fan terpasang.



Gambar 4. 4. Performansi Power vs RPM kondisi Electric Fan Off, 0,2 Bar dan 0,3 Bar Electric Fan.

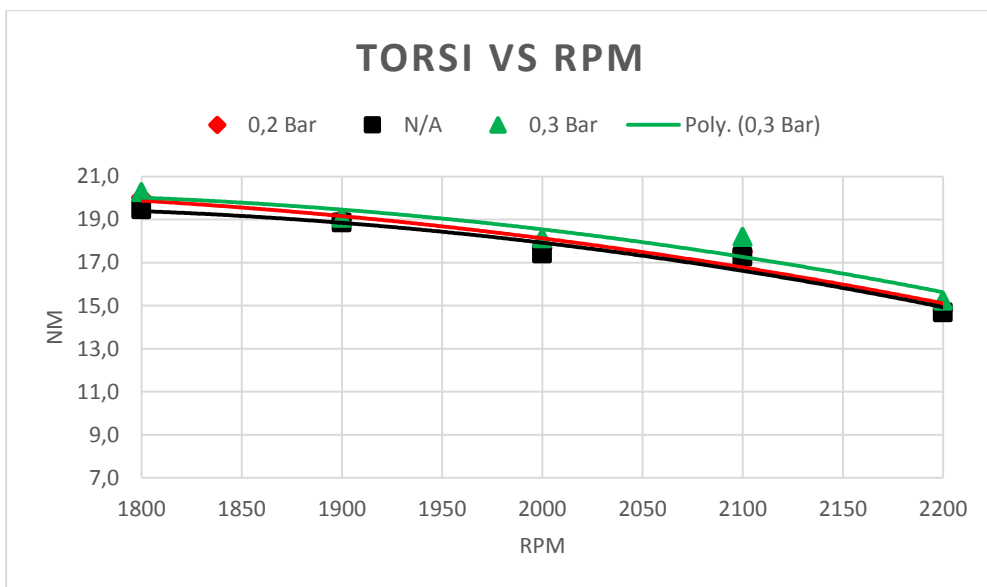
Gambar 4.4. merupakan grafik perbandingan performansi power terhadap RPM. Pada kondisi Electric Fan Off, Electric Fan 0,2 Bar dan Electric Fan 0,3 Bar. Pada gambar 4.4 merupakan grafik dari nilai 100% power. Nilai didapat dari titik SFOC paling rendah yang telah dijelaskan pada grafik – grafik sebelumnya.

Pada grafik power diatas, terlihat pada setiap RPM perbandingan antara penggunaan Electric fan dan tidaknya. Mengalami penningkatan pada kondisi N/A RPM 1800 power yang dihasilkan 3,668 kW. Electric fan 0,2 Bar meningkat menjadi 3,781 kW dan menggunakan electric fan 0,3 Bar power meningkat menjadi 3,823 kW.

Pada kondisi *Naturally Aspirated* RPM 1900 dihasilkan power 3,755 kW. Ketika electric fan 0,2 Bar menjadi 3,789 kW dan electric fan 0,3 Bar meningkat 3,795 kW. Pada saat kondisi *Naturally Aspirated* RPM 2000 power dihasilkan 3,650 kW. Kondisi electric fan 0,2 Bar meningkat 3,705 kW dan electric fan 0,3 Bar power meningkat 3,796 kW.

Pada kondisi *Naturally Aspirated* RPM 2100 power dihasilkan 3,799 kW. Ketika electric fan 0,2 Bar meningkat 3,853 kW dan ketika menggunakan electric fan 0,3 Bar power meningkat 4,004 kW. Pada kondisi *Naturally Aspirated* RPM 2200

dihasilkan 3,382 kW. Kondisi electric fan 0,2 Bar menjadi 3,416 kW dan electric fan 0,3 Bar power meningkat menjadi 3,506 kW.



Gambar 4. 5. Performansi Torsi vs RPM kondisi Electric Fan Off, 0,2 Bar dan 0,3 Bar Electric Fan.

Gambar 4.5. Merupakan grafik perbandingan performansi torsi terhadap RPM pada saat kondisi Electric Fan Off, Electric Fan 0,2 Bar dan Electric Fan 0,3 Bar. Pada gambar 4.5 merupakan grafik dari nilai 100% power. Nilai ini didapat dari titik SFOC paling rendah yang telah dijelaskan pada grafik sebelumnya.

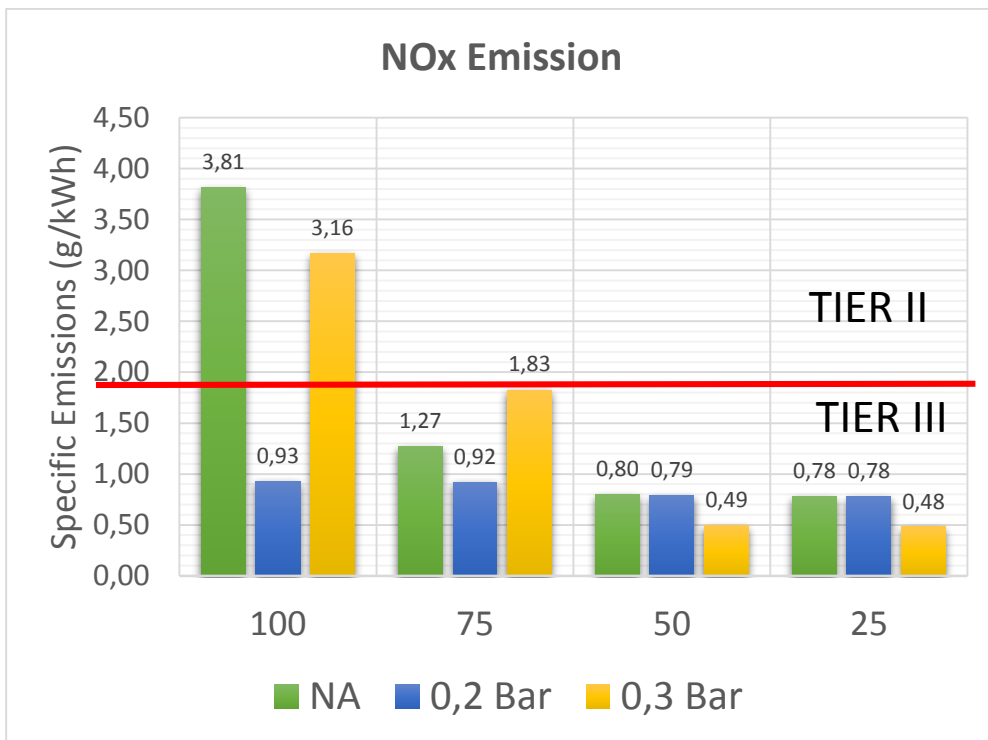
Pada grafik torsi diatas, terlihat pada setiap RPM perbandingan antara penggunaan Electric fan dan tidaknya mengalami peningkatan. Pada kondisi *Naturally Aspirated* RPM 1800 torsi menghasilkan 19,471 Nm. Pada kondisi electric fan 0,2 Bar meningkat 20,023 Nm dan electric fan 0,3 Bar menghasilkan torsi 20,283 Nm. Pada kondisi *Naturally Aspirated* RPM 1900 dihasilkan 18,872 Nm. Kondisi electric fan 0,2 Bar meningkat menjadi 19,033 Nm dan electric fan 0,3 Bar Torsi meningkat 19,084 Nm.

Pada kondisi *Naturally Aspirated* RPM 2000 menghasilkan 17,420 Nm. Kondisi electric fan 0,2 Bar menghasilkan 17,680 Nm dan menggunakan electric fan 0,3 Bar Torsi menghasilkan 18,135 Nm. Pada saat *Naturally Aspirated* RPM 2100 torsi sebesar 17,278 Nm. Kondisi electric fan 0,2 Bar menghasilkan 17,512 Nm dan electric fan 0,3 Bar menghasilkan torsi 18,201 Nm. Pada kondisi *Naturally Aspirated* RPM 2200 torsi yang dihasilkan 14,687 Nm. Kondisi electric fan 0,2 Bar

menghasilkan 14,816 Nm dan electric fan 0,3 Bar Torsi meningkat menjadi 15,229 Nm.

4.2. Hasil Uji Emisi Menggunakan Electric Fan pada Saluran Intake.

Pada setiap hasil proses pembakaran mesin diesel yang mengakibatkan munculnya emisi yang beracun. Salah satu diantara emisi tersebut adalah NOx. Emisi NOx terbentuk selama proses pembakaran berlangsung. NOx dapat terbentuk karena oksigen dan nitrogen bebas bertemu pada kondisi temperatur ruang bakar yang sangat tinggi. International Maritime Organisation (IMO) telah mengeluarkan mengenai standar ambang batas emisi NOx yang diperbolehkan dari emisi gas buang mesin diesel. Secara lengkap aturan ini telah dibahas pada MARPOL Annex VI.



Gambar 4. 6. Diagram batang kadar NOx kondisi 100% RPM dan beban bervariasi

Electric fan yang digunakan ketika eksperimen termasuk sebagai sistem pernapasan force induction udara pada ruang bakar. Hal tersebut memberikan efek pada proses pembakaran dikarenakan kapasitas udara yang menjadi lebih besar. Dalam sistem *force induction* akan berefek pada emisi yang dihasilkan.

Kadar emisi NOx yang dihasilkan pada *Naturally Aspirated* dari beban 25%-100% adalah 0,78 g/kWh, 0,80 g/kWh, 1,27 g/kWh dan 3,81 g/kWh. Kondisi beban 100% emisi NOx terjadi paling tinggi, besaran nilai NOx pada beban 100% tergolong pada Tier II. Sedangkan ketika pada beban 75% *Naturally Aspirated* menghasilkan

NOx sebesar 1,1101 g/kWh. Pada saat kondisi beban 25% pada 50% *Naturally Aspirated* kadar emisi NOx yang dihasilkan turun sebesar 0,0402 g/kWh dan 0,1013 g/kWh. Secara umum dibawah kondisi beban 100% emisi NOx termasuk klasifikasi Tier III.

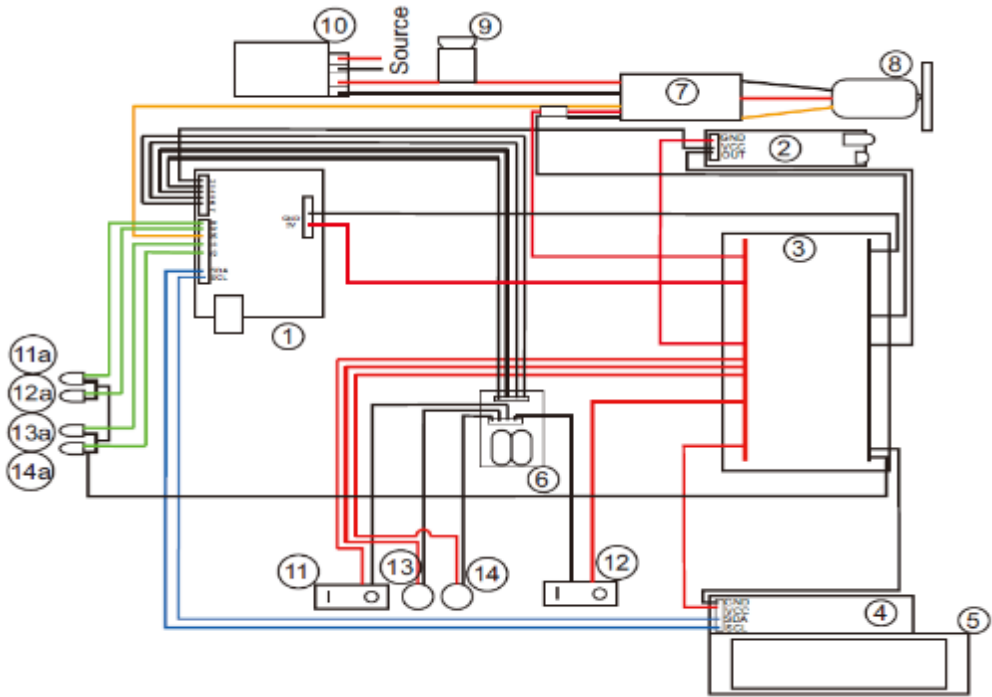
Seperti yang telah dijelaskan pada BAB II bahwa kualifikasi TIER 1 adalah emisi NOx antara 7,7 sampai 9,8 g/kWh pada putaran lebih dari 2000RPM. Kualifikasi TIER 2 adalah emisi NOx mesin diesel antara 1,96 sampai 7,7 g/kWh pada putaran 2000RPM. Kualifikasi TIER 3 adalah emisi NOx mesin diesel yang kurang dari 1,96 g/kWh pada putaran lebih dari 2000RPM.

Kadar emisi NOx yang dihasilkan pada 0,2 Bar *Electric fan* dari beban 25%-100% secara berturut-turut adalah 0,78 g/kWh, 0,79 g/kWh, 0,92 g/kWh dan 0,93 g/kWh. Saat kondisi 0,2 Bar electric fan emisi yang dihasilkan menurun secara perlahan mengikuti load yang diberikan. Sehingga rata – rata kadar emisi NOx masuk dalam kategori standar TIER III.

Kadar emisi NOx pada 0,3 Bar *Electric fan* dari beban 25%-100% secara berturut-turut adalah 0,48 g/kWh, 0,49 g/kWh, 1,83 g/kWh dan 3,16 g/kWh. Saat kondisi beban 100% emisi NOx mengalami peningkatan yang cukup besar yaitu sebesar 3,16 g/kWh termasuk dalam TIER II. Sedangkan saat beban mesin berada pada 25%, 50%, dan 75%, emisi NOx mengalami penurunan yaitu 0,48 g/kWh, 0,49 g/kWh dan 1,83 g/kWh tergolong pada TIER III.

4.3. Sistem Kontrol Arduino Uno

Pengontrolan menggunakan Arduino Uno sebagai komponen pengontrol memiliki rangkaian sebagai berikut.;



Gambar 4. 7. Rangkaian sistem kontrol menggunakan *Arduino UNO*

Keterangan gambar 4.7.

No	Keterangan	No	Keterangan
1.	Arduino Uno	10.	Trafo Source
2.	IR-08H	11.	Manual On/Off Push Button
3.	Breadboard	11a	Led Push Button
4.	IIC Konverter	12.	Automatic On/Off Push Button
5.	LCD (Liquid Crystal Display)	12a	Led Push Button
6.	Resistor	13.	0,2 Bar Push Button
7.	ESC (Electric Control Speed)	13a	Led Push Button
8.	Electric Fan	14.	0,3 Bar Push Button
9.	Sikring Pengaman	14a	Led Push Button

Pada gambar 4.7. menjelaskan mengenai rangkaian dalam sistem pengontrolan menggunakan Arduino Uno.

Pengontrolan Arduino Uno bergantung pada PIN yang terdapat pada komponen arduino. Pembagian pin kontrol pada arduino antara lain pin digital 2 sebagai sensor RPM IR-08H. Pin digital 3 dan 4 digunakan sebagai kontrol push botton manual dan otomatis, pin digital 5 dan 6 digunakan untuk push botton 0,2 bar dan 0,3 bar. Pin digital 7 dan 8 digunakan sebagai kontrol led manual dan otomatis. Pin digital 9 digunakan sebagai kontrol ESC (electric speed control). Pin 10 & 11 digunakan sebagai kontrol lampu led 0,2 Bar dan 0,3Bar.



Gambar 4. 8. Electric Control Fan.

Logika yang dipakai dalam pembuatan sistem kontrol electric fan adalah sebelum membuat program kapan electric fan harus ON/OFF. Berdasarkan data performa yang sudah diambil pada bab sebelumnya. Data performa akan di bandingkan antara kondisi *Naturally Aspirated*, 0,2 Bar dan 0,3 Bar melihat power dan torsi yang dihasilkan. Pada data *electric fan* 0,3 Bar menghasilkan power dan torsi lebih tinggi dari pada ketika kondisi *Naturally Aspirated* dan 0,2 Bar.

Maka dalam sistem kontrol lebih efisien menggunakan sensor RPM sensor IR-08H sebagai input kedalam komponen Arduino untuk dibuat sistem otomatis. Electric fan akan berputar secara penuh ketika mendapat input dari sensor RPM yang terbaca pada flywheelee mesin diesel. Arduino di program untuk electric fan agar berputar ketika sensor RPM membaca putaran flywheelee sebesar 1800 RPM, 1900 RPM, 2000 RPM, 2100 RPM, dan 2200 RPM.

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Bedasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan. Aplikasi sistem *Electric Control Fan* pada mesin diesel dapat ditarik kesimpulan sementara sebagai berikut :

- a. Penggunaan electric control fan pada saat 0,2 bar dan 0,3 bar pada mesin diesel pernapasan naturally aspirated mengakibatkan konsumsi bahan bakar. SFOC berkurang sampai dengan 347,42 gr/kWh dan 342,05 gr/kWh atau konsumsi bahan bakar lebih irit sebesar 3,62% dan 5,12%. Hal tersebut diikuti dengan trend power dan torsi yang juga terus meningkat.
- b. Dengan menggunakan sistem electric control fan pada 0,3 bar mampu mengurangi kadar emisi NO_x sebesar 0,2223 gr/kWh atau tereduksi sebesar 20,03%. Secara garis besar kadar emisi mesin diesel yang telah menggunakan electric fan mampu diperbaiki hingga masuk pada spesifikasi TIER 3.
- c. Pada penggunaan sistem otomatis electric control fan dengan manual terjadi penurunan kapasitas yang terjadi rata – rata sebesar 1,128%. Hal tersebut dapat disebabkan dari banyak faktor. Faktor input pemrograman yang kurang sinkron dan dikarenakan Motor DC menggunakan sinyal PWM respon untuk mencapai putaran yang diinginkan terdapat delay.

5.2. Saran

Dengan dilakukannya penelitian mengenai penggunaan Electric Fan pada sistem pernapasan mesin diesel. Peneliti memiliki saran agar penelitian dapat lebih bermanfaat dan lebih baik lagi. Saran yang ingin disampaikan adalah sebagai berikut :

- a. Penelitian selanjutnya dapat meneliti sistem Electric Control Fan ditambahkan dengan sensor flow udara. Untuk memudahkan pembacaan kecepatan udara dan kapasitas yang dihasilkan.
- b. Penelitian selanjutnya dapat meneliti sistem Electric Control Fan depadukan dengan kemajuan teknologi yang sedang terjadi. Seperti bahan bakar biodiesel B30 agar mendapatkan kadar emisi yang lebih baik.

REFERENSI

- [1] Philip Kristanto and Rahardjo Tirtoatmodjo, 2000, "*Pengaruh Suhu Dan Tekanan Udara Masuk Terhadap Kinerja Motor Diesel Tipe 4 Ja 1,*" Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Petra, Indonesia.
- [2] P. Studi et al., 2010, "*PENGARUH PENGGUNAAN TURBOCHARGER TERHADAP UNJUK KERJA MESIN DIESEL L300*" Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara, Sumatera.
- [3] J. B. Lheywood, *Internal combustion engine*, vol. 2010, no. 1. 2010.
- [4] D. Jagadish, P. Ravi Kumar, and K. M. Murthy, 2011, "*The effect of supercharging on performance and emission characteristics of compresion ignition engine with diesel-ethanol-ester blends,*" *Therm. Sci.*, Department of Mechanical Engineering, National Institute of Technology Warangal, India
- [5] B. Gou, Y. Yang, and H. Guo, 2015, "*Design on electric supercharger controller based on Brushless DC motor,*" Electronics and Materials Engineering Conference.
- [6] J. M. Desantes, J. Benajes, J. M. García-Oliver, and C. P. Kolodziej, 2014, "*Effects of intake pressure on particle size and number emissions from premixed diesel low-temperature combustion,*", National Dong Hwa Universit, Korea.
- [7] J. Olt, V. Mikita, J. Roots, and A. Jasinskas, 2015, "*Cylinder pressure characteristics of turbocharged and naturally aspirated diesel engines,*" Aleksandras Stulginskis University, Lithuania.
- [8] A. Td and S. Dinesh, 2016, "*Conversion of Naturally aspirated Diesel engine to turbocharged engine for improving the performance for Genset applications,*" Department of Automobile Engineering, Saveetha School of Engineering, Saveetha University, India.
- [9] S. Oun, S. A. Farhat, and M. A. Irabeei, 2017 , "*The Effect of Turbocharger Pressure and Intercooler Temperature on Engine Performance,*" Mechanical and Industrial Engineering Department, Faculty of Engineering, University of Tripoli, Libya.
- [10] I. Sayekti and B. Supriyo, 2015, "*Pengubah Pulsa Digital ke Tegangan untuk Sensor Kecepatan Putaran Berbasis Mikrokontroller Arduino.*", Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Semarang, Indonesia.
- [11] A. Widya, U. Chandra, A. Zuhdi, M. Fathallah, I. M. Ariana, "*ANALISA ALIRAN FLUIDA UDARA MASUK TERHADAP KEBUTUHAN UDARA*

- PEMBAKARAN DIESEL ENGINE,*” Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [12] Abdullaha, Shahrudina, dan Mamata, 2013, *"Effects of Air Intake Pressure to the Fuel Economy and Exhaust Emissions on a Small SI Engine"*, Faculty of Mechanical Engineering, Universiti Malaysia Pahang, Pekan, Pahang, Malaysia.

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

LAMPIRAN

Lampiran I. Hasil Data Performa

Data performa diperoleh melalui proses eksperimen menggunakan mesin diesel yang telah dimodifikasi dengan menambahkan sistem *electric control fan*. Agar dapat mengetahui nilai dari performa mesin diesel, maka diperlukan sebuah generator listrik sebagai alat uji pembebanan terhadap mesin diesel tersebut. Untuk mengetahui seberapa besar performa yang dihasilkan oleh sebuah engine, maka diperlukan nilai daya, torsi, dan SFOC. Agar data dapat diolah menjadi variabel di atas maka terdapat beberapa data yang diperlukan yaitu RPM motor, RPM generator, voltase dan arus yang dihasilkan saat pembebanan, nilai $\cos\theta$ generator, efisiensi generator serta waktu konsumsi bahan bakar untuk volume tertentu. Tabel 4.1 sampai 4.3 dibawah ini merupakan hasil eksperimen performa dengan variasi mesin diesel naturally aspirated dan dengan electric fan 0,2 bar dan 0,3 bar.

Tabel 4.1. Performa Mesin Diesel Naturally Aspirated

RPM	Beban	RPM Engine	Power	Torsi	BMEP	SFOC
			(kW)	(Nm)	(N/m ²)	(gr/kWh)
1800	1000	1802	0,848	4,494	18230,53	687,995
	1500	1801	1,306	6,927	28100,79	495,663
	2000	1801	1,772	9,401	38137,19	410,311
	2500	1803	2,279	12,077	48994,62	353,992
	3000	1804	2,755	14,591	59192,68	319,066
	4000	1800	3,668	19,471	78988,23	314,815
	4500	1804	4,080	21,608	87660,2	320,781
1900	1000	1900	0,918	4,617	18730,35	682,391
	1500	1900	1,400	7,040	28559,53	519,363
	2000	1901	1,927	9,687	39296,39	424,417
	2500	1901	2,489	12,509	50746,09	407,988
	3000	1902	3,083	15,489	62833,99	382,019
	4000	1901	3,755	18,872	76560,97	348,545
	4500	1901	4,531	22,772	92381,17	371,387
2000	1000	2002	0,999	4,769	19345,8	647,692
	1500	2000	1,679	8,023	32546,39	438,367
	2000	2000	2,114	10,100	40973,56	397,950
	2500	2003	2,664	12,706	51543,93	368,511
	3000	2002	3,650	17,420	70669,99	310,283
	4000	2003	4,291	20,469	83037,44	370,940
2100	1000	2100	1,121	5,099	20687,34	633,080
	1500	2103	1,818	8,260	33507,79	476,394
	2000	2100	2,301	10,467	42461,59	449,128
	2500	2102	2,844	12,927	52442,28	414,168
	3000	2101	3,799	17,278	70092,12	360,493
	3500	2101	4,119	18,732	75991,12	376,260
2200	1000	2200	1,233619	5,357349	21733,67	612,0828
	1500	2201	1,948695	8,458932	34316,15	444,4603
	2000	2201	2,485351	10,78846	43766,56	423,1653
	2500	2200	3,382004	14,68734	59583,52	348,2905

	3000	2201	4,126862	17,91395	72673,25	356,7844
--	------	------	----------	----------	----------	----------

Tabel 4.2. Performa Mesin Diesel Electric Fan 0,2 bar.

RPM	Beban	RPM Engine	Power	Torsi	BMEP	SFOC
			(kW)	(Nm)	(N/m ²)	(gr/kWh)
1800	1000	1803	0,906	4,800	19474,55	677,214
	1500	1802	1,322	7,010	28436,79	479,007
	2000	1801	1,808	9,594	38919,86	407,085
	2500	1803	2,287	12,120	49166,48	352,755
	3000	1803	3,045	16,137	65464,16	302,191
	4000	1804	3,781	20,023	81230,73	293,919
	5000	1803	4,539	24,051	97568,87	350,713
1900	1000	1904	0,970	4,869	19751,89	638,942
	1500	1904	1,437	7,213	29262,53	487,756
	2000	1903	1,962	9,851	39963,17	416,897
	2500	1902	2,517	12,645	51298,87	403,380
	3000	1903	3,326	16,697	67737,4	347,235
	4000	1902	3,789	19,033	77212,46	345,422
	4500	1902	4,544	22,828	92606,49	350,273
2000	1000	2001	1,040	4,966	20144,46	615,559
	1500	2002	1,723	8,221	33352,6	422,067
	2000	2001	2,160	10,311	41829,93	389,608
	2500	2003	2,751	13,120	53225,54	351,018
	3000	2002	3,705	17,680	71726,16	294,391
	4000	2004	4,318	20,587	83516,56	358,927
2100	1000	2102	1,150	5,226	21201,28	609,798
	1500	2101	1,846	8,395	34056,68	490,816
	2000	2101	2,374	10,795	43792,82	427,763
	2500	2103	2,931	13,316	54019,17	386,429
	3000	2102	3,853	17,512	71041,33	347,427
	3500	2104	4,238	19,245	78073,45	386,019
2200	1000	2204	1,235458	5,3556	21726,57	611,1715
	1500	2203	1,955738	8,481794	34408,9	436,4416
	2000	2202	2,540545	11,02304	44718,2	413,9719
	2500	2203	3,416405	14,81653	60107,62	338,023
	3000	2202	4,102185	17,79875	72205,89	341,8387

Tabel 4.3. Performa Mesin Diesel Electric Fan 0,3 bar.

RPM	Beban	RPM Engine	Power	Torsi	BMEP	SFOC
			(kW)	(Nm)	(N/m ²)	(gr/kWh)
1800	1000	1801	0,945	5,013	20337,9	605,067
	1500	1801	1,484	7,871	31931,64	417,832
	2000	1800	1,839	9,762	39604,38	390,509
	2500	1802	2,497	13,238	53702,06	332,243
	3000	1802	3,091	16,388	66482,86	293,145
	4000	1801	3,823	20,283	82283,11	290,643
	4500	1802	4,414	23,402	94935,1	333,595
	5000	1802	4,909	26,027	105584,2	342,798
1900	1000	1901	1,064	5,347	21693,25	576,611
	1500	1900	1,540	7,744	31414,4	449,945
	2000	1901	1,972	9,910	40201,99	403,645
	2500	1902	2,565	12,887	52278,34	389,113
	3000	1902	3,339	16,775	68051,26	339,165
	4000	1900	3,795	19,084	77420,7	337,359
	4500	1901	4,586	23,049	93506,68	337,950
2000	1000	2001	1,108	5,288	21454,19	565,683
	1500	2002	1,808	8,629	35006,11	392,441
	2000	2001	2,228	10,640	43165,23	372,238
	2500	2000	2,791	13,332	54086,46	345,949
	3000	2000	3,796	18,135	73570,24	282,076
	4000	2001	4,409	21,051	85400,23	351,537
2100	1000	2100	1,217	5,535	22454,95	556,429
	1500	2101	1,890	8,597	34875,45	502,485
	2000	2101	2,449	11,137	45178,58	453,760
	2500	2102	3,028	13,762	55828,09	422,880
	3000	2102	4,004	18,201	73836,37	342,050
	3500	2101	4,280	19,464	78963,06	352,814
2200	1000	2202	1,331514	5,777236	23437,06	559,9031
	1500	2202	2,118799	9,193142	37294,69	402,8534
	2000	2200	2,610736	11,33788	45995,46	395,7746
	2500	2200	3,50687	15,2296	61783,38	322,9705
	3000	2201	4,130112	17,92807	72730,49	331,6313

1. Perhitungan Performa :

- RPM Generator

$$RPM\ Gen = \frac{RPM\ aktual}{1,37}$$

- Eff Generator

Konstan = 0,85

- Eff Slip

$$Eff\ Slip = \frac{RPM\ Gen\ Aktual}{RPM\ gen\ Calculation}$$

- Power (Watt)

$$Power(Watt) = \frac{V \times I \times \cos \phi}{Eff\ gen \times Eff\ Slip}$$

- Power (KW)

$$Power(kW) = Power(watt) \times 1000$$

- Row Bahan Bakar

Massa Jenis Bahan Bakar HSD = 818000 (gr/m³) (Sumber.Pertamina)

- FCR (Gr/h)

$$FCR = \frac{row\ BB \times Vol\ BB}{Time(h)}$$

- SFOC (gr/kWh)

$$SFOC = \frac{FCR \left(\frac{gr}{h} \right)}{Power(kW)}$$

- Torsi (Nm)

$$Torsi = \frac{Power(kW) \times 60000}{2 \times \pi \times RPM\ Aktual}$$

Lampiran II. Test Cycle point data proses pembakaran dan nilai No_x

Tabel MARPOL Annex VI, Appendix II Test Cycle

test cycle type E2	Speed	100%	100%	100%	100%
	Power	25%	75%	50%	100%
	Weight Factor	0,2	0,5	0,15	0,15

Tabel Titik test cycle pada Naturally Aspirated

test cycle type E2	Speed (RPM)	100%	100%	100%	100%
		2100	2100	2100	2100
	Power (kW)	100%	75%	50%	25%
		3,73	3,04	2,11	1,16

Tabel Titik test cycle pada Electric Fan 0,2 Bar

test cycle type E2	Speed (RPM)	100%	100%	100%	100%
		2100	2100	2100	2100
	Power (kW)	100%	75%	50%	25%
		3,80	3,06	2,13	1,16

Tabel Titik test cycle pada Electric Fan 0,3 Bar

test cycle type E2	Speed (RPM)	100%	100%	100%	100%
		2100	2100	2100	2100
	Power (kW)	100%	75%	50%	25%
		4,00	3,35	2,14	1,17

Lampiran III. Hasil Emisi NOx Dan Konversi

Load	RPM		Engine Power (kW)	Fuel Density (g/m ³)	Air Density (g/m ³)	Engine Capacity (m ³)	Humidity Correction	Engine RPM	Volume Flow Rate (m ³ /s)	Air Mass Flow Rate (g/s)	Torque (Nm)
	Engine	Alternator									
3000	2100	1522	3,739	818000	1204	0,000493	1,12	2100	0,0086275	10,38751	17,01
2500	2100	1529	3,049					2100	0,0086275	10,38751	13,87
1800	2103	1534	2,118					2103	0,0086398	10,40235	9,62
1000	2102	1530	1,165					2102	0,0086357	10,39740	5,30
3000	2102	1525	3,807					2102	0,0086357	10,39740	17,30
2500	2101	1530	3,061					2101	0,0086316	10,39246	13,92
1800	2101	1534	2,137					2101	0,0086316	10,39246	9,72
1000	2103	1532	1,169					2103	0,0086398	10,40235	5,31
3000	2103	1528	4,000					2103	0,0086398	10,40235	18,17
2500	2101	1529	3,358					2101	0,0086316	10,39246	15,27
1800	2101	1535	2,143					2101	0,0086316	10,39246	9,74
1000	2102	1532	1,166					2102	0,0086357	10,39740	5,30

BMEP (kPa)	SFOC (gr/kWh)	Fuel Mass Flow Rate (g/s)	Exhaust Gas Mass Flow Rate (kg/h)	w	NOx Mass Flow Rate (g/h)	NO _x (g/kWh)
433,36	315,0505	0,327	38,57	0,20	14,25	3,81
353,41	311,5504	0,264	38,34	0,50	3,88	1,27
245,16	370,7357	0,218	38,23	0,15	1,69	0,80
134,93	500,4300	0,162	38,01	0,23	0,91	0,78
440,83	291,9027	0,309	38,54	0,20	3,54	0,93
354,64	310,3256	0,264	38,36	0,50	2,82	0,92
247,56	353,3674	0,210	38,17	0,15	1,68	0,79
135,34	495,7055	0,161	38,03	0,23	0,91	0,78
463,00	253,8473	0,282	38,46	0,20	12,65	3,16
388,99	278,4322	0,260	38,35	0,50	6,13	1,83
248,26	352,3671	0,210	38,17	0,15	1,05	0,49
135,04	490,3133	0,159	38,00	0,23	0,56	0,48

Lampiran IV. Hasil Data NOx Dari Exhaust Gas Analyzer.

- Emisi Naturally Aspirated



FORMULIR

LABORATORIUM ENERGI DAN LINGKUNGAN
LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN MASYARAKAT
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

17. NA (100%)

Gas Analysis	
fuel type	
gas natural	
T.air	93F
T.gas	368F
T.sensr	95F
O2	18,5%
NO	201 ppm
SO2	0 ppm
H2	0 ppm
CO2	1,4 %
Eff	50,9%
Loses	49,1%
Excess air	8,40

Gas Analysis	
fuel type	
gas natural	
T.air	93F
T.gas	368F
T.sensr	95F
O2	18,5%
NO	205 ppm
SO2	0 ppm
H2	0 ppm
CO2	1,4 %
Eff	50,9%
Loses	47,1%
Excess air	8,40

18. NA (75%)

Gas Analysis	
fuel type	
gas natural	
T.air	93F
T.gas	360F
T.sensr	96F
O2	20,1%
NO	55 ppm
SO2	0 ppm
H2	0 ppm
CO2	0,5 %
Eff	54,7 %
Loses	45,3 %
Excess air	23,33

Gas Analysis	
fuel type	
gas natural	
T.air	93F
T.gas	364F
T.sensr	96F
O2	20,1 %
NO	63 ppm
SO2	0 ppm
H2	0 ppm
CO2	0,5 %
Eff	50,9%
Loses	47,1%
Excess air	23,33



FORMULIR

LABORATORIUM ENERGI DAN LINGKUNGAN
LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN MASYARAKAT
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

19.NA (50%)

Gas Analysis		
Fuel Type		
gas-natural		
T.air	93	F
T.gas	273	F
T.sensor	97	F
O2	20,6	%
NO	22	ppm
SO2	0	ppm
H2	0	ppm
CO2	0,2	%
Eff		%
Loses		%

Gas Analysis		
Fuel Type		
gas-natural		
T.air	93	F
T.gas	279	F
T.sensor	97	F
O2	20,6	%
NO	22	ppm
SO2	0	ppm
H2	0	ppm
CO2	0,2	%
Eff		%
Loses		%

20.NA (25%)

Gas Analysis		
Fuel Type		
gas-natural		
T.air	93	F
T.gas	256	F
T.sensor	97	F
O2	20,6	%
NO	13	ppm
SO2	0	ppm
H2	0	ppm
CO2	0,2	%
Eff		%
Loses		%

Gas Analysis		
Fuel Type		
gas-natural		
T.air	93	F
T.gas	261	F
T.sensor	97	F
O2	20,9	%
NO	6	ppm
SO2	0	ppm
H2	0	ppm
CO2	0,2	%
Eff		%
Loses		%

Electric Fan 0,2 Bar



FORMULIR
LABORATORIUM ENERGI DAN LINGKUNGAN
LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN MASYARAKAT
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

21. Electric Fan 0,2 Bar (100%)

```
*****
* ECOM - J2KN *
*****
Date      Time
01.13.00  03:08 AM

-----
Gas analysis
-----
Fuel type
Gas-Natural

-----
T.Air      92  °F
T.Gas      391 °F
T.Sensor   96  °F
O2         20,6 %
NO         50  PPM
SO2        0   PPM
H2         0   PPM
CO2        0,2 %

-----
ECOM America Ltd.
1628 Oakbrook Drive
Gainesville
Georgia 30507
Tel. 770-532-3200
Fax: 770-532-3620
Toll-Free 877-326-6411
www.ecomusa.com
```

```
*****
* ECOM - J2KN *
*****
Date      Time
01.13.00  03:08 AM

-----
Gas analysis
-----
Fuel type
Gas-Natural

-----
T.Air      92  °F
T.Gas      334 °F
T.Sensor   96  °F
O2         20,6 %
NO         50  PPM
SO2        0   PPM
H2         0   PPM
CO2        0,2 %

-----
ECOM America Ltd.
1628 Oakbrook Drive
Gainesville
Georgia 30507
Tel. 770-532-3200
Fax: 770-532-3620
Toll-Free 877-326-6411
www.ecomusa.com
```

22. Electric Fan 0,2 Bar (75%)

```
*****
* ECOM - J2KN *
*****
Date      Time
01.13.00  03:10 AM

-----
Gas analysis
-----
Fuel type
Gas-Natural

-----
T.Air      92  °F
T.Gas      367 °F
T.Sensor   96  °F
O2         20,7 %
NO         40  PPM
SO2        0   PPM
H2         0   PPM

-----
ECOM America Ltd.
1628 Oakbrook Drive
Gainesville
Georgia 30507
Tel. 770-532-3200
Fax: 770-532-3620
Toll-Free 877-326-6411
www.ecomusa.com
```

```
*****
* ECOM - J2KN *
*****
Date      Time
01.13.00  03:09 AM

-----
Gas analysis
-----
Fuel type
Gas-Natural

-----
T.Air      92  °F
T.Gas      374 °F
T.Sensor   96  °F
O2         20,7 %
NO         40  PPM
SO2        0   PPM
H2         0   PPM

-----
ECOM America Ltd.
1628 Oakbrook Drive
Gainesville
Georgia 30507
Tel. 770-532-3200
Fax: 770-532-3620
Toll-Free 877-326-6411
www.ecomusa.com
```


Electric Fan 0,2 Bar

**FORMULIR**

**LABORATORIUM ENERGI DAN LINGKUNGAN
LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN MASYARAKAT
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**

23. Electric Fan 0,2 Bar (50%)

* ECOM - J2KN *

Date Time
01.13.00 03:11 AM

Gas analysis

Fuel type
Gas-Natural

T.Air	93	°F
T.Gas	336	°F
T.Sensor	96	°F
O2	21.0	%
NO	24	PPM
SO2	0	PPM
H2	0	PPM

ECOM America Ltd.
1628 Oakbrook Drive
Gainesville
Georgia 30507
Tel. 770-532-3280
Fax: 770-532-3620
Toll-Free 877-326-6411
www.ecomusa.com

* ECOM - J2KN *

Date Time
01.13.00 03:11 AM

Gas analysis

Fuel type
Gas-Natural

T.Air	93	°F
T.Gas	341	°F
T.Sensor	96	°F
O2	20.9	%
NO	23	PPM
SO2	0	PPM
H2	0	PPM

ECOM America Ltd.
1628 Oakbrook Drive
Gainesville
Georgia 30507
Tel. 770-532-3280
Fax: 770-532-3620
Toll-Free 877-326-6411
www.ecomusa.com

24. Electric Fan 0,2 Bar (25%)

* ECOM - J2KN *

Date Time
01.13.00 03:13 AM

Gas analysis

Fuel type
Gas-Natural

T.Air	93	°F
T.Gas	272	°F
T.Sensor	97	°F
O2	21.0	%
NO	13	PPM
SO2	0	PPM
H2	0	PPM

ECOM America Ltd.
1628 Oakbrook Drive
Gainesville
Georgia 30507
Tel. 770-532-3280
Fax: 770-532-3620
Toll-Free 877-326-6411
www.ecomusa.com

* ECOM - J2KN *

Date Time
01.13.00 03:13 AM

Gas analysis

Fuel type
Gas-Natural

T.Air	93	°F
T.Gas	283	°F
T.Sensor	97	°F
O2	21.0	%
NO	15	PPM
SO2	0	PPM
H2	0	PPM

ECOM America Ltd.
1628 Oakbrook Drive
Gainesville
Georgia 30507
Tel. 770-532-3280
Fax: 770-532-3620
Toll-Free 877-326-6411
www.ecomusa.com

Electric Fan 0,3 Bar

**FORMULIR**

**LABORATORIUM ENERGI DAN LINGKUNGAN
LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN MASYARAKAT
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**

25. Electric Fan 0,3 Bar (100%)

* E C O M - J 2 K N *

Date Time
01.13.00 03:18 AM

Gas analysis

Fuel type
Gas-Natural

T.Air	93	°F
T.Gas	428	°F
T.Sensor	97	°F
O2	18.8	%
NO	179	PPM
SO2	0	PPM
H2	0	PPM
CO2	1.2	%
Eff.	35.9	%
Losses	64.1	%
Exc. air	9.55	

ECOM America Ltd.
1628 Oakbrook Drive
Gainesville
Georgia 30507
Tel. 770-532-3280
Fax: 770-532-3620
Toll-Free 877-326-6411
www.ecomusa.com

26. Electric Fan 0,3 Bar (75%)

* E C O M - J 2 K N *

Date Time
01.13.00 03:20 AM

Gas analysis

Fuel type
Gas-Natural

T.Air	93	°F
T.Gas	379	°F
T.Sensor	98	°F
O2	19.8	%
NO	87	PPM
SO2	0	PPM
H2	0	PPM
CO2	0.7	%
Eff.	6.1	%
Losses	93.9	%
Exc. air	17.50	

ECOM America Ltd.
1628 Oakbrook Drive
Gainesville
Georgia 30507
Tel. 770-532-3280
Fax: 770-532-3620
Toll-Free 877-326-6411
www.ecomusa.com

* E C O M - J 2 K N *

Date Time
01.13.00 03:18 AM

Gas analysis

Fuel type
Gas-Natural

T.Air	93	°F
T.Gas	427	°F
T.Sensor	97	°F
O2	18.7	%
NO	204	PPM
SO2	0	PPM
H2	0	PPM
CO2	1.3	%
Eff.	38.4	%
Losses	61.6	%
Exc. air	9.13	

ECOM America Ltd.
1628 Oakbrook Drive
Gainesville
Georgia 30507
Tel. 770-532-3280
Fax: 770-532-3620
Toll-Free 877-326-6411
www.ecomusa.com

* E C O M - J 2 K N *

Date Time
01.13.00 03:20 AM

Gas analysis

Fuel type
Gas-Natural

T.Air	93	°F
T.Gas	380	°F
T.Sensor	98	°F
O2	19.8	%
NO	81	PPM
SO2	0	PPM
H2	0	PPM
CO2	0.7	%
Eff.	5.9	%
Losses	94.1	%
Exc. air	17.50	

ECOM America Ltd.
1628 Oakbrook Drive
Gainesville
Georgia 30507
Tel. 770-532-3280
Fax: 770-532-3620
Toll-Free 877-326-6411
www.ecomusa.com

Electric Fan 0,2 Bar



FORMULIR
LABORATORIUM ENERGI DAN LINGKUNGAN
LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN MASYARAKAT
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

27. Electric Fan 0,3 Bar (50%)

 * ECOM - J2KN *

Date Time
 01.13.00 03:22 AM

Gas analysis

Fuel type
 Gas-Natural

T.Air	94	°F
T.Gas	321	°F
T.Sensor	98	°F
O2	20,8	%
NO	15	PPM
SO2	0	PPM
H2	0	PPM

ECOM America Ltd.
 1628 Oakbrook Drive
 Gainesville
 Georgia 30507
 Tel. 770-532-3280
 Fax: 770-532-3620
 Toll-Free 877-326-6411
 www.ecomusa.com

 * ECOM - J2KN *

Date Time
 01.13.00 03:22 AM

Gas analysis

Fuel type
 Gas-Natural

T.Air	94	°F
T.Gas	329	°F
T.Sensor	98	°F
O2	20,9	%
NO	15	PPM
SO2	0	PPM
H2	0	PPM

ECOM America Ltd.
 1628 Oakbrook Drive
 Gainesville
 Georgia 30507
 Tel. 770-532-3280
 Fax: 770-532-3620
 Toll-Free 877-326-6411
 www.ecomusa.com

28. Electric Fan 0,3 Bar (25%)

 * ECOM - J2KN *

Date Time
 01.13.00 03:24 AM

Gas analysis

Fuel type
 Gas-Natural

T.Air	94	°F
T.Gas	254	°F
T.Sensor	98	°F
O2	21,0	%
NO	8	PPM
SO2	0	PPM
H2	0	PPM

ECOM America Ltd.
 1628 Oakbrook Drive
 Gainesville
 Georgia 30507
 Tel. 770-532-3280
 Fax: 770-532-3620
 Toll-Free 877-326-6411
 www.ecomusa.com

 * ECOM - J2KN *

Date Time
 01.13.00 03:24 AM

Gas analysis

Fuel type
 Gas-Natural

T.Air	94	°F
T.Gas	279	°F
T.Sensor	98	°F
O2	21,0	%
NO	8	PPM
SO2	0	PPM
H2	0	PPM

ECOM America Ltd.
 1628 Oakbrook Drive
 Gainesville
 Georgia 30507
 Tel. 770-532-3280
 Fax: 770-532-3620
 Toll-Free 877-326-6411
 www.ecomusa.com

Lampiran V. Effisiensi Volumetrik

Perhitungan Kapasitas Udara :

- Kecepatan Udara

$$v = \sqrt{\frac{2p' g h}{p}}$$

- Kapasitas Udara (Debit)

$$Q = V \times A$$

Perhitungan Effisiensi Volumetrik

- Eff Volumetrik

$$E. Vol = \frac{\text{Massa udara yg masuk (Aktual)}}{\text{Massa Udara yg masuk (Teoritis)}}$$

- Massa jennis udara yang masuk.

$$\rho \text{ dry air} = \frac{P}{R \times T}$$

Keterangan :

P = Tekanan udara yang masuk

R = Spesific gas constant for dry air (287,05 J/K)

T = Temperatur

- Massa udara yg masuk (Aktual)

$$m. aktual = \text{Kapasitas} \left(\frac{m^3}{s} \right) \times \text{massa jenis udara yg masuk}$$

- Massa udara yg masuk (teoritis)

$$m. teoritis = \text{Massa jenis udara ambient} \times \left(\frac{\pi \times d^2}{4} \right) \times \text{stroke} \times \text{RPM(s)}$$

Efisiensi Volumetrik Naturally Aspirated

RPM	Aktual	Beban	Naturally Aspirated (kg/m ³)	Capacity theoritrical (kg/m ³)	nv (Eff. Volumetric)
1800	1801	1000	0,013442	0,0179955656	74,69%
	1801	1500	0,013450	0,0179955656	74,74%
	1800	2000	0,013445	0,0179855736	74,76%
	1802	2500	0,013460	0,0180055576	74,75%
	1802	3000	0,013461	0,0180055576	74,76%
1900	1902	1000	0,014897	0,0190047561	78,38%
	1902	1500	0,014901	0,0190047561	78,41%
	1901	2000	0,014896	0,0189947641	78,42%
	1902	2500	0,014903	0,0190047561	78,42%
	1902	3000	0,014998	0,0190047561	78,92%
2000	2000	1000	0,015775	0,0199839707	78,94%
	2001	1500	0,015778	0,0199939627	78,91%
	2001	2000	0,015779	0,0199939627	78,92%
	2002	2500	0,015788	0,0200039547	78,92%
	2003	3000	0,015893	0,0200139466	79,41%
2100	2101	1000	0,016711	0,0209931612	79,60%
	2101	1500	0,016870	0,0209931612	80,36%
	2102	2000	0,016880	0,0210031532	80,37%
	2102	2500	0,016927	0,0210031532	80,59%
	2100	3000	0,017057	0,0209831692	81,29%
2200	2200	1000	0,017904	0,0219823678	81,45%
	2201	1500	0,017928	0,0219923597	81,52%
	2201	2000	0,017946	0,0219923597	81,60%
	2202	2500	0,018137	0,0220023517	82,43%
	2203	3000	0,018440	0,0220123437	83,77%

Efisiensi Volumetrik Electric Control Fan 0,2 Bar

RPM	Aktual	Beban	Capacity Fan 0,2 Bar (kg/m ³)	Capacity theoritrical (kg/m ³)	nv (Eff. Volumetric)
1800	1802	1000	0,01561970	0,0180055576	86,749%
	1802	1500	0,01561608	0,0180055576	86,729%
	1801	2000	0,01559796	0,0179955656	86,677%
	1802	2500	0,01559434	0,0180055576	86,608%
	1802	3000	0,01559434	0,0180055576	86,608%
1900	1904	1000	0,01650350	0,0190247401	86,748%
	1904	1500	0,01649664	0,0190247401	86,712%
	1903	2000	0,01647606	0,0190147481	86,649%
	1902	2500	0,01646232	0,0190047561	86,622%
	1903	3000	0,01646919	0,0190147481	86,613%
2000	2001	1000	0,01733905	0,0199939627	86,721%
	2002	1500	0,01734068	0,0200039547	86,686%
	2002	2000	0,01732926	0,0200039547	86,629%
	2003	2500	0,01733252	0,0200139466	86,602%
	2003	3000	0,01733252	0,0200139466	86,602%
2100	2102	1000	0,01819218	0,0210031532	86,616%
	2102	1500	0,01819032	0,0210031532	86,608%
	2103	2000	0,01819871	0,0210131452	86,606%
	2103	2500	0,01819685	0,0210131452	86,597%
	2104	3000	0,01820399	0,0210231372	86,590%
2200	2201	1000	0,01904868	0,0219923597	86,615%
	2202	1500	0,01905462	0,0220023517	86,603%
	2203	2000	0,01906055	0,0220123437	86,590%
	2204	2500	0,01906797	0,0220223357	86,585%
	2204	3000	0,01906886	0,0220223357	86,589%

Efisiensi Volumetrik Electric Control Fan 0,3 Bar

RPM	Aktual	Beban	Capacity Fan 0,3 Bar (kg/m3)	Capacity theoritrical (kg/m3)	nv (Eff. Volumetric)
1800	1801	1000	0,01697313	0,01799557	94,318%
	1801	1500	0,01697119	0,01799557	94,308%
	1801	2000	0,01697119	0,01799557	94,308%
	1803	2500	0,01698988	0,01801555	94,307%
	1804	3000	0,01699845	0,01802554	94,302%
1900	1904	1000	0,01794315	0,01902474	94,315%
	1904	1500	0,01794315	0,01902474	94,315%
	1903	2000	0,01793319	0,01901475	94,312%
	1902	2500	0,01792286	0,01900476	94,307%
	1903	3000	0,01793024	0,01901475	94,296%
2000	2001	1000	0,01885633	0,01999396	94,310%
	2002	1500	0,01886440	0,02000395	94,303%
	2001	2000	0,01884651	0,01999396	94,261%
	2003	2500	0,01886089	0,02001395	94,239%
	2002	3000	0,01885107	0,02000395	94,237%
2100	2102	1000	0,01980593	0,02100315	94,300%
	2102	1500	0,01980593	0,02100315	94,300%
	2102	2000	0,01977776	0,02100315	94,166%
	2103	2500	0,01977752	0,02101315	94,120%
	2102	3000	0,01976749	0,02100315	94,117%
2200	2204	1000	0,02076467	0,02202234	94,289%
	2204	1500	0,02073917	0,02202234	94,173%
	2203	2000	0,02069926	0,02201234	94,035%
	2203	2500	0,02069671	0,02201234	94,023%
	2202	3000	0,02068967	0,02200235	94,034%

Lampiran VI. Kalibrasi Kapasitas Udara sistem Manual dan Otomatis Electric Control Fan.

RPM	Beban	Kapasitas Udara (m ³ /s)				Error	
		Manual		Otomatis		0,2 Bar	0,3 Bar
		0,2 Bar	0,3 Bar	0,2 Bar	0,3 Bar		
1800	1000	0,01486	0,01493	0,01472	0,01478	0,9421%	1,0047%
	2000	0,01484	0,01493	0,01472	0,01478	0,8086%	1,0047%
	3000	0,01483	0,01495	0,01471	0,01477	0,8092%	1,2040%
1900	1000	0,0157	0,01578	0,01561	0,01562	0,5732%	1,0139%
	2000	0,01567	0,01577	0,01551	0,0156	1,0211%	1,0780%
	3000	0,01566	0,01577	0,01547	0,01561	1,2133%	1,0146%
2000	1000	0,01649	0,01658	0,01631	0,01641	1,0916%	1,0253%
	2000	0,01648	0,01658	0,01631	0,01639	1,0316%	1,1460%
	3000	0,01649	0,01658	0,01631	0,0164	1,0916%	1,0856%
2100	1000	0,0173	0,01742	0,01712	0,01722	1,0405%	1,1481%
	2000	0,01731	0,01739	0,01712	0,0172	1,0976%	1,0926%
	3000	0,01732	0,01739	0,01712	0,01716	1,1547%	1,3226%
2200	1000	0,01812	0,01826	0,01792	0,01805	1,1038%	1,1501%
	2000	0,01813	0,01821	0,01793	0,01801	1,1031%	1,0983%
	3000	0,01814	0,0182	0,01795	0,01792	1,0474%	1,5385%

Standart Error Electric Fan 0,2 Bar.

- Standart Deviasi

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \mu)^2}{n - 1}}$$

Σ = Jumlah dari kalkulasi $(X_i - \mu)^2$

X_i = Nilai untuk setiap angka dalam dataset (saya hanya mewakili nilai)

μ = Rata-rata untuk nilai dalam dataset

n = Jumlah nilai dalam dataset, jika terdapat 10 angka dalam dataset, maka $n = 10$

σ = Standart Deviation

Sedangkan untuk formula perhitungan mencari standart error yaitu dengan :

$$SE = \frac{SD}{\sqrt{n}}$$

Keterangan

SE = Standart Error

SD = Standart Deviasi

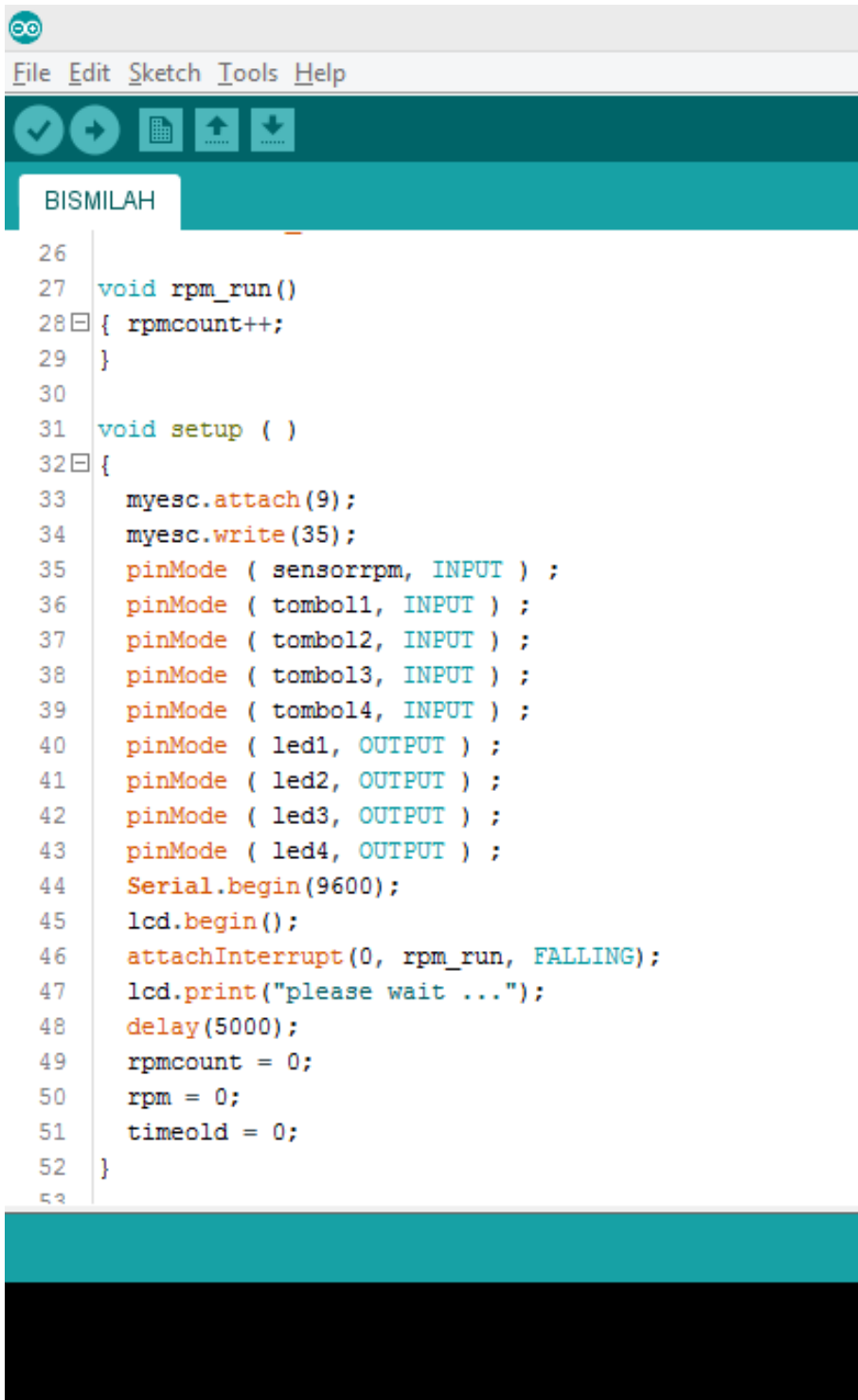
n = jumlah nilai datasheet

Setelah menggunakan formula tersebut maka didapat standart deviasi sebesar 0,1647% untuk 0,2 Bar dan diperoleh standart error sebesar 0,04253%. Sedangkan kondisi 0,3 Bar standart deviasi sebesar 0,143076% dan diperoleh standart error 0,03694%.

Lampiran VII. Program Arduino.



```
File Edit Sketch Tools Help
BISMILAH
1  #include <Servo.h>
2  #include <LiquidCrystal_I2C.h>
3  #include <Wire.h>
4  Servo myesc;
5  int sensorrpm = 2 ; //input ke pin 2
6  int value ;
7  const int tombol1 = 3 ;
8  const int tombol2 = 4 ;
9  const int tombol3 = 5 ;// pin 8 (90)
10 const int tombol4 = 6 ;//pin 7 (180)
11 int led1 = 7 ;//pin6 led1
12 int led2 = 8 ;//pin5 led2
13 int led3 = 10 ;//pin4 led3
14 int led4 = 11 ;//pin3 led4
15
16 volatile byte rpmcount;
17 unsigned int rpm;
18 unsigned long timeold;
19
20 int otomatis_pin = 0;
21 int manual_pin = 0;
22 int manual90_pin = 0;
23 int manual180_pin = 0;
24
25 LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
26
27 void rpm_run()
28 { rpmcount++;
```




```
BISMILAH

26
27 void rpm_run()
28 { rpmcount++;
29 }
30
31 void setup ( )
32 {
33   myesc.attach(9);
34   myesc.write(35);
35   pinMode ( sensorrpm, INPUT ) ;
36   pinMode ( tombol1, INPUT ) ;
37   pinMode ( tombol2, INPUT ) ;
38   pinMode ( tombol3, INPUT ) ;
39   pinMode ( tombol4, INPUT ) ;
40   pinMode ( led1, OUTPUT ) ;
41   pinMode ( led2, OUTPUT ) ;
42   pinMode ( led3, OUTPUT ) ;
43   pinMode ( led4, OUTPUT ) ;
44   Serial.begin(9600);
45   lcd.begin();
46   attachInterrupt(0, rpm_run, FALLING);
47   lcd.print("please wait ...");
48   delay(5000);
49   rpmcount = 0;
50   rpm = 0;
51   timeold = 0;
52 }
53
```

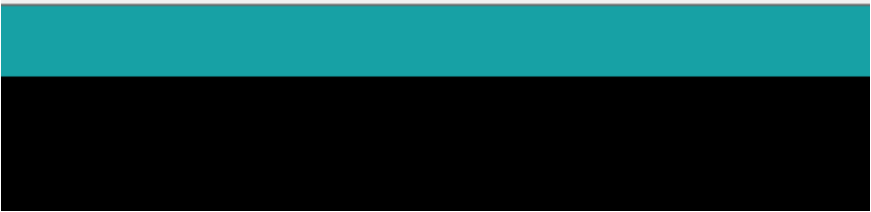



```
File Edit Sketch Tools Help
BISMILAH
53
54 void loop ( )
55 {
56   detachInterrupt (0);
57   rpm = 17.08*1.196*1000/(millis() - timeold)*rpmcount;
58   timeold = millis();
59   rpmcount = 0;
60
61   otomatis_pin = digitalRead(tombol1);
62   manual_pin = digitalRead(tombol2);
63   manual90_pin = digitalRead(tombol3);
64   manual180_pin = digitalRead(tombol4);
65
66   Serial.println(rpm);
67   Serial.println(manual90_pin);
68   Serial.println(manual180_pin);
69   Serial.println(manual_pin);
70   Serial.println(otomatis_pin);
71   attachInterrupt (0, rpm_run, FALLING);
72
73   myesc.write (0);
74   digitalWrite (led1, LOW);
75   digitalWrite (led2, LOW);
76   digitalWrite (led3, LOW);
77   digitalWrite (led4, LOW);
78
79   if (otomatis_pin == HIGH )
80     digitalWrite (led1, HIGH);
```



```
File Edit Sketch Tools Help
BISMILAH
80 { digitalWrite(led1,HIGH);
81   if(rpm >1800 )
82     {myesc.write(170);}}
83
84
85 if(manual_pin == HIGH )
86 { digitalWrite(led2,HIGH);
87   if(manual90_pin == HIGH )
88     { digitalWrite(led3,HIGH);
89       myesc.write(70);}
90
91     if(manual180_pin == HIGH )
92     { digitalWrite(led4,HIGH);
93       myesc.write(170);}
94   }
95 int esc_angle;
96 esc_angle= myesc.read();
97 lcd.setCursor(0,0); //Display CO
98 lcd.print("ELECTRIC CONTROL");
99 lcd.setCursor(0,1);
100 lcd.print("rpm=");
101 lcd.setCursor(4,1);
102 lcd.print(rpm);
103 lcd.print("  ");
104 lcd.setCursor(9,1);
105 lcd.print("fan=");
106 if (esc_angle > 10){
107   lcd.setCursor(13,1);
```

```
107     lcd.setCursor(13,1);
108     lcd.print("ON ");
109     }
110  else {
111     lcd.setCursor(13,1);
112     lcd.print("OFF");}
113  delay (2000);
114  }
```



BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Surabaya, 14 Maret 2007, merupakan anak ke 2 dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di beberapa sekolah diantaranya SDN Siti Aminah Surabaya, SMPN 34 Surabaya, dan SMAN 6 Surabaya. Penulis melanjutkan ke jenjang Strata 1 di Departemen Teknik Sistem Perkapalan ITS pada tahun 2015 melalui program PKM ITS. Penulis terdaftar dengan NRP 04211540000071. Penulis mengambil konsentrasi bidang studi Marine Power Plant (MPP). Selama berada di bangku perkuliahan, penulis aktif mengikuti beberapa Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) keolahragaan seperti muay thai, dan flag football. Penulis sangat aktif dalam kegiatan berorganisasi pada Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) Fakultas Teknologi Kelautan. Penulis pernah menjabat sebagai Ketua Departemen Sosial Masyarakat. Pernah menjadi penanggung jawab acara sosial FTK ISLAND yang diadakan pada pulau Gili Labak dan Gili Raja, Sumenep. Selama semester akhir, penulis banyak menghabiskan waktu untuk menyelesaikan Tugas Akhir di Laboratorium Marine Power Plant (MPP) dan Getaran Mesin